

目 录

第一篇 制浆造纸生产过程的工艺与设备计算

第一章 备料过程的工艺与设备计算	(1)
第一节 原料场的计算	(1)
一、原料场贮料量的计算	(1)
二、原木贮木场的面积计算	(2)
(一)水上贮木场的面积计算	(2)
(二)陆上贮木场的面积计算	(2)
三、蔗渣堆垛的通风系数计算	(2)
第二节 草类原料的备料计算	(3)
一、切草机的计算	(3)
(一)切草机的生产能力计算	(3)
(二)切草机的切草长度计算	(3)
(三)切草机所需台数的计算	(4)
(四)切草机的喂料速度的计算	(4)
(五)切草机电机功率的计算	(4)
二、除尘系统的计算	(4)
(一)除尘及其辅助设备的选型计算	(4)
(二)回收水泥包装纸的除尘及其辅助设备的选型计算实例	(6)
(三)风送草片鼓风机所需动力的计算	(9)
(四)二级干法除尘系统的计算	(10)
第三节 木材原料的备料计算	(11)
一、链式拉木机的计算	(11)
(一)拉木机的生产能力计算	(11)
(二)拉木机所需电机功率的计算	(11)
二、圆筒剥皮机的计算	(11)
(一)生产能力计算	(11)
(二)电机功率的计算	(12)
三、圆盘削片机的计算	(12)
(一)生产能力计算	(12)
(二)所需台数的确定计算	(12)
(三)所需电机功率的计算	(13)
(四)木片长度的计算	(14)
(五)木片长度与纤维长度的相互换算	(14)
(六)木片厚度的计算	(15)
(七)木片斜度的计算	(16)
(八)投木槽与刀盘间的夹角关系计算	(16)
(九)相邻两刀间的距离计算	(16)

(十)刀距的计算	(17)
(十一)刀高的计算	(17)
(十二)喂料虎口与刀盘平面的安装距离计算	(17)
四、锅顶料仓的计算	(17)
(一)料仓装料量的计算	(17)
(二)木片料仓锥底的选取计算	(18)
第二章 碱法蒸煮工艺与设备的计算	(21)
第一节 碱法蒸煮的理论计算	(21)
一、硫酸盐法蒸煮脱木素反应动力学计算	(21)
(一)反应级数的确定	(21)
(二)蒸煮脱木素的动力学方程式	(21)
二、脱木素反应速率常数和反应活化能的计算	(22)
(一)按二级反应计算反应速率常数和活化能	(22)
(二)各种脱木素反应的活化能	(25)
三、蔗渣预水解过程中反应的动力学计算	(26)
(一)脱聚戊糖及脱木素反应的动力学方程式	(26)
(二)预水解相对反应速率常数的计算	(26)
第二节 碱法蒸煮液的配制计算	(27)
一、碱法蒸煮液制备的计算公式	(27)
(一)计算公式	(27)
(二)碱液不同成分含量的相互换算	(28)
二、碱法蒸煮液的制备计算实例	(29)
(一)硫酸盐法蒸煮液制备计算实例	(29)
(二)烧碱蒸煮液的制备计算实例	(31)
(三)碳酸钠溶液浓度、相对密度之间的关系	(35)
(四)烧碱与亚硫酸钠作蒸煮剂用碱量的计算	(35)
第三节 蒸煮过程的工艺计算	(36)
一、不同原料不同蒸煮设备的装锅量	(36)
二、不同原料不同纸种蒸煮用碱量	(36)
三、蒸煮综合工艺计算及其实例	(36)
四、配碱浓度和蒸煮初期碱液浓度的计算	(37)
五、木片蒸煮活性碱用量的估算	(38)
六、木片蒸煮液比的估算	(38)
七、木片蒸煮高锰酸钾值、用碱量、液比及H因子之间的关系	(38)
八、蒸煮后期纸浆得率与H因子的关系	(39)
九、苇浆蒸煮木素含量与卡伯值的关系	(39)
十、蔗渣浆卡伯值与高锰酸钾值的关系	(39)
十一、硫酸盐法蒸煮时间的延长或缩短的计算	(39)
(一)有一段升温的蒸煮曲线蒸煮时间的计算	(39)
(二)有两段升温的蒸煮曲线蒸煮时间的计算	(41)
十二、蒸煮H因子的计算	(42)
(一)H因子的计算方法	(42)
(二)H因子的应用计算实例	(45)

第四节 蒸煮锅硫酸盐法蒸煮工艺计算及实例	(48)
一、蒸煮液用量的计算	(48)
二、碱法蒸煮锅蒸煮物料衡算及实例	(50)
(一)装锅送液过程的计算	(50)
(二)升温过程的计算	(52)
(三)保温过程的计算	(54)
(四)大放汽的计算	(54)
(五)放锅的工艺计算	(56)
(六)黑液与浆料的计算	(57)
(七)蒸煮过程总物料平衡	(57)
三、蒸汽装锅器用汽量的计算	(58)
(一)每米 ³ 实积木片的绝干重量 G_1	(58)
(二)加热每米 ³ 实积木片所需热量 Q_1	(58)
(三)蒸汽耗用量 D 的计算	(58)
四、蒸煮热回收工艺计算	(59)
(一)放锅热回收计算	(59)
(二)大、小放汽热回收计算	(61)
第五节 蒸煮器的计算	(64)
一、蒸煮器的生产能力计算	(64)
二、蒸煮器保温层的最佳厚度估算	(64)
(一)计算法	(64)
(二)图解法	(65)
三、蒸球的工艺计算	(65)
(一)蒸球容积和台数的选定计算	(65)
(二)蒸球转速的计算	(67)
(三)蒸球所需电机功率的计算	(67)
(四)蒸球的热平衡及节能计算与实例	(67)
(五)蒸球保温材料的保温比较计算及实例	(71)
四、蒸煮锅的有关计算	(73)
(一)蒸煮锅的容积及台数的确定计算	(73)
(二)立式蒸煮锅容积的设计计算	(74)
第三章 酸法蒸煮的工艺与设备的计算	(76)
第一节 亚硫酸盐溶液的制备计算	(76)
一、硫铁矿的焙烧计算	(76)
(一)硫铁矿的焙烧计算	(76)
(二)沸腾焙烧炉的计算	(88)
二、炉气的净化和冷却计算	(92)
(一)干法除尘计算	(92)
(二)湿法净化的计算	(94)
(三)炉气的输送计算	(101)
三、二氧化硫的吸收计算	(102)
(一)亚硫酸盐溶液的成分和性质	(102)
(二)二氧化硫的吸收计算	(110)

四、酸液的组成计算	(118)
(一)酸液的组成成分计算	(118)
(二)酸液中盐基含量的计算	(119)
(三)酸液成分的组成判断计算	(119)
第二节 酸法蒸煮的工艺计算	(120)
一、酸法蒸煮理论计算	(120)
(一)脱木素的反应速率计算	(120)
(二)脱木素反应的瞬时速率计算	(120)
(三)有效蒸煮时间的计算	(120)
二、酸法蒸煮工艺计算	(120)
(一)每米 ³ 锅容风干粗浆产量的计算	(120)
(二)蒸煮 H 因子的计算	(121)
(三)蒸煮度的计算	(121)
(四)送液前从锅内排除空气量的计算	(121)
(五)送液量的计算	(122)
三、蒸煮蒸汽用量的计算及实例	(123)
四、蒸煮锅的有关计算	(126)
(一)蒸煮锅的比表面积计算 α	(126)
(二)蒸煮锅的生产能力计算	(126)
(三)蒸煮锅的台数选择计算	(126)
(四)蒸煮锅锅体的钢壳厚度计算	(127)
五、亚硫酸盐法草浆的蒸煮工艺计算	(128)
(一)蒸煮酸的配制计算	(128)
(二)苇浆中木素含量与卡伯值的关系	(130)
六、亚硫酸氢盐法蒸煮的工艺计算	(130)
(一)盐基补充量及补充水量的计算及实例	(130)
(二)用硫率的计算	(130)
第四章 中性亚硫酸盐法蒸煮的工艺计算	(132)
第一节 中性亚硫酸盐法蒸煮脱木素反应的动力学方程	(132)
第二节 中性亚铵法蒸煮的工艺计算	(132)
一、亚铵用量的计算	(132)
(一)固体亚铵用量的计算	(132)
(二)液体亚铵需要量的计算	(133)
二、中和氨和游离氨用量的计算	(134)
(一)综合计算法	(134)
(二)分步计算法	(135)
三、配制蒸煮液时补加水量的计算	(138)
四、纸浆高锰酸钾值与卡伯值及木素含量之间的关系	(139)
第三节 亚铵废液的浓度计算	(139)
第五章 机械法磨浆的工艺与设备计算	(140)
第一节 磨石磨木机的磨浆机理计算	(140)
一、比磨碎时间的计算	(140)
二、比磨层厚度的计算	(140)

第二节 磨木浆质量控制计算	(140)
一、磨木比压的计算	(140)
(一)机械加压磨木机的比压计算	(140)
(二)水力加压磨木机的比压计算	(141)
二、磨浆变数对磨木浆质量的影响计算	(141)
(一)磨浆产量的变化计算	(141)
(二)磨浆质量的变化计算	(141)
(三)游离度的变化计算	(142)
(四)输入功率的变化计算	(142)
(五)磨浆质量随磨石线速的变化计算	(142)
第三节 磨木机的计算	(143)
一、磨木机的生产能力计算	(143)
二、磨木机磨石的刻石计算	(143)
(一)刻石行刀速度的计算	(143)
(二)刻石所需时间的计算	(143)
三、磨木机所需电机功率的计算	(144)
(一)磨木机的有效功率计算	(144)
(二)磨木机的无效功率计算	(144)
(三)磨木机所需电机总功率的计算	(144)
(四)磨木机应配置电机的实际功率计算	(144)
第六章 废液的提取及纸浆洗涤过程的工艺与设备计算	(145)
第一节 废液的提取工艺计算	(145)
一、废液提取率的计算	(145)
(一)简单计算法	(145)
(二)一般计算法	(145)
(三)近似计算法	(145)
(四)测定蒸煮和洗涤损失计算法	(146)
二、螺旋挤浆机的计算	(146)
(一)生产能力的计算	(146)
(二)洗涤效率及稀释因子的计算及实例	(146)
第二节 纸浆洗涤的理论计算	(149)
一、稀释因子的计算	(149)
(一)定义式	(150)
(二)理论计算式	(150)
(三)近似计算式	(150)
二、扩散速度的计算	(150)
三、洗涤效率的计算	(151)
四、洗涤纤维流失率的计算	(151)
五、吸附作用的计算	(151)
(一)浆对钠离子平衡状态的吸附量(等温式)	(152)
(二)浆对钠离子吸附曲线的斜率	(152)
六、纸浆洗净度的有关计算	(152)
(一)洗净度的计算	(152)

(二)由纸浆浓度计算残液量	(152)
(三)残碱浓度的计算	(153)
(四)碱法浆残碱洗净度的表示方法及相互间的换算	(153)
七、置换比的计算	(154)
八、纸浆相对浓度的计算	(154)
九、纸浆相对体积的计算	(154)
十、洗涤效果的相互换算	(154)
第三节 纸浆的过滤工艺计算	(155)
一、纸浆悬浮液的过滤速度计算	(155)
二、过滤设备的生产能力计算	(155)
三、过滤比阻(阻抗系数)的计算	(155)
四、毛细管内液柱高度的计算	(156)
第四节 洗涤池的工艺计算	(156)
一、洗涤池面积的计算	(156)
二、洗涤池洗净程度的计算	(157)
三、不同洗涤方式用水量及洗涤时间的计算与比较	(157)
(一)积分洗涤法的计算	(157)
(二)降浓积分洗涤法	(158)
(三)级数洗涤法	(158)
第五节 真空洗浆机的工艺计算	(159)
一、真空洗浆机的生产能力计算	(159)
二、真空洗浆机水腿管径计算	(160)
三、四段串联真空洗浆机的黑液平衡计算及实例	(160)
第六节 多段逆流洗涤的平衡计算	(162)
一、多段逆流洗涤的平衡理论计算	(162)
二、多段逆流洗涤出口浆层中的废液浓度计算	(163)
三、第 n 次洗涤后浆中废液含残碱浓度的计算及实例	(163)
第七节 侧压浓缩机的计算	(163)
一、侧压浓缩机的洗涤效果估算	(163)
二、侧压浓缩机串联台数的计算	(164)
三、侧压浓缩机进、出浆浓度的确定计算	(165)
第八节 纸浆洗涤用水量的确定	(165)
第七章 纸浆筛选过程的工艺与设备计算	(166)
第一节 纸浆筛选效率的计算	(166)
一、按尘埃的大小和个数计算	(166)
二、采用筛分的办法计算	(166)
三、磨木浆筛选效率的计算	(166)
(一)筛选比率的计算	(166)
(二)长纤维损失指数的计算	(167)
第二节 排渣率的计算	(167)
第三节 筛浆机的工艺计算	(168)
一、筛浆机的生产能力计算	(168)
二、平板振动筛的生产能力计算	(168)

三、C 型离心筛的计算	(168)
(一)离心筛动力消耗计算	(168)
(二)稀释水量的计算	(169)
(三)CX 型离心筛开孔率的计算	(169)
(四)CX 型或 ZSL 1-4 型离心筛筛孔排列尺寸与纤维平均长度的关系	(170)
四、旋翼筛的计算	(170)
(一)生产能力计算	(170)
(二)旋翼筛的开孔率及筛板孔眼规格的选择	(171)
(三)旋翼筛台数的确定计算	(171)
(四)旋翼筛的选型计算	(172)
第八章 纸浆净化过程的工艺与设备计算	(174)
第一节 沉砂槽的计算	(174)
一、沉砂槽的主要经验数据	(174)
二、沉砂槽的流量及槽宽计算	(174)
三、沉砂槽的生产能力计算	(175)
四、沉砂槽尺寸的确定计算	(175)
(一)经验数据法	(175)
(二)经验数据法计算槽宽和槽的长度实例	(175)
第二节 锥形除砂器的工艺计算	(176)
一、流体的涡旋运动特点表达式	(176)
二、浆料涡旋运动产生的离心力计算	(176)
(一)浆料涡旋运动产生的离心力	(176)
(二)浆料每一质点受到的离心力计算	(176)
三、锥形除砂器的流量计算	(177)
(一)由压力差计算进浆量	(177)
(二)由进浆口截面积计算进浆量	(177)
(三)由除砂器高度计算进浆量	(177)
(四)流量的经验计算	(178)
四、节流比的计算	(178)
五、除砂器进口流速的计算	(179)
六、除砂器内螺纹下锥口螺旋角的计算	(179)
七、除砂器型号的选择计算	(179)
八、除砂器的生产能力计算	(180)
九、除砂器台数的选择计算	(180)
十、锥形除砂器的压头损失计算	(181)
第九章 纸浆漂白的工艺与设备计算	(182)
第一节 漂白反应的理论计算	(182)
一、氧漂过程脱木素反应的速率方程式	(182)
二、氧漂对碳水化合物的降解反应速率方程式	(182)
第二节 次氯酸盐漂液的制备计算	(182)
一、石灰用量(灰比)的计算	(182)
二、石灰乳液浓度的计算	(183)
三、石灰用量及石灰乳浓度的计算实例	(183)

四、石灰乳液的相对密度、浓度与温度之间的关系	(183)
五、次氯酸钙漂液吸收槽容积的计算	(184)
六、漂液吸收槽每日吸收次数的计算	(185)
七、由制漂温度的变化计算漂液浓度	(185)
八、漂液有效氯含量的计算(列线图法)	(185)
九、次氯酸盐漂液的相对密度,有效氯浓度与温度的关系	(186)
第三节 次氯酸盐漂白的工艺计算	(186)
一、漂白的有效氯用量(漂率)的计算	(186)
(一)亚硫酸盐浆漂白有效氯用量的计算	(187)
(二)硫酸盐法稻草浆用氯量的计算	(187)
(三)硫酸盐法蔗渣浆用氯量的计算	(187)
(四)硫酸盐苇浆的漂白用氯量计算	(188)
(五)硫酸盐竹浆漂白用氯量计算	(188)
(六)碱法稻草浆用氯量计算	(188)
(七)漂粉精母液漂白的漂率计算	(188)
(八)木浆漂白的有效氯用量	(189)
二、漂液稀释用水量的计算	(189)
三、漂白浆料稀释用水量的计算	(189)
四、间歇漂白机装浆量计算	(190)
五、漂白所需有效氯浓度的计算	(190)
六、漂液加入量的计算	(190)
(一)体积计量法	(190)
(二)单位时间体积计算法	(191)
七、纸浆洗涤用水量	(191)
八、漂白脱氯剂需用量的计算	(191)
(一)纯亚硫酸钠作漂白脱氯剂用量的计算	(192)
(二)纯硫代硫酸钠作漂白脱氯剂用量的计算	(192)
(三)亚硫酸钠和硫代硫酸钠混合作漂白脱氯剂用量的计算	(193)
九、次氯酸盐漂白用汽量的计算	(193)
(一)间歇式漂白机用汽量的计算及实例	(193)
(二)连续式漂白用汽量的计算	(195)
(三)液氯气化用汽量计算	(195)
十、漂白所需动力计算	(196)
第四节 C—E—H 三段漂白工艺计算	(196)
一、氯化的工艺计算	(196)
(一)氯气的性质	(196)
(二)纸浆氯化用氯量计算	(196)
(三)氯化塔的计算	(197)
(四)氯化后产浆量的计算	(197)
二、碱处理的工艺计算	(198)
(一)碱处理 NaOH 用量的计算	(198)
(二)稀释 NaOH 用水量的计算	(198)
三、次氯酸盐补充漂白的工艺计算	(199)
(一)补充漂白的有效氯用量计算	(199)

(二)补充漂白次氯酸盐漂液用量的计算	(199)
四、C-E-H 三段漂白工艺计算实例	(199)
五、硫酸盐木浆三段漂白的有效氯用量与高锰酸钾值的关系	(200)
第五节 纸浆连续漂白的工艺计算	(200)
一、连续漂白漂液用量的计算	(200)
二、连续漂白输浆量的计算	(201)
第六节 氧化性漂白剂的有效氯含量计算	(201)
第七节 ClO_2 漂白的工艺计算	(202)
一、不同温度下 ClO_2 分压与溶解度的关系	(202)
二、二氧化氯的有效氯含量的计算	(202)
第八节 纸浆白度及返黄值的计算	(202)
一、纸浆白度的计算	(202)
二、纸浆返黄值的表示和计算	(203)
(一)白度差法	(203)
(二)白度变化率法	(203)
(三) $P \cdot C$ 值(价)法	(203)
第九节 漂白设备的计算	(204)
一、连续漂白设备的生产能力计算	(204)
二、漂白设备的有效容积计算	(204)
第十章 黑液的回收工艺与设备计算	(205)
第一节 黑液的组成及性质计算	(205)
一、不同温度下黑液波美度的计算	(205)
二、黑液相对密度与波美度的关系	(205)
三、不同原料制浆黑液波美度与黑液固形物浓度之间的关系	(205)
(一)部分木材、竹浆、棉秆及部分草类	(205)
(二)蔗渣及芒秆	(205)
(三)麦草	(205)
(四)红松	(205)
四、黑液密度与固形物含量的关系	(206)
(一)相对密度与固形物含量的关系	(206)
(二)密度与固形物含量的关系	(206)
五、稀浓黑液混合时浓黑液量的计算	(206)
六、黑液的比热计算	(206)
(一)一般计算法	(206)
(二)近似计算法	(207)
第二节 黑液的蒸发工艺计算	(207)
一、黑液蒸发水量的计算	(207)
二、多效蒸发的效数计算	(208)
三、蒸发的传热量计算	(208)
四、蒸发器蒸汽消耗量的计算	(208)
(一)直接蒸汽加热的蒸汽消耗量计算	(208)
(二)间接蒸汽加热蒸汽消耗量的计算	(209)
五、蒸发黑液时传热系数的计算	(209)

六、蒸发设备的计算	(209)
(一)预热器加热面积的计算	(209)
(二)混合式冷凝器的计算	(210)
(三)从表面冷凝器抽出空气重量计算	(211)
(四)真空泵从冷凝器中抽出蒸汽重量的计算	(211)
第三节 黑液的燃烧工艺与设备计算	(211)
一、黑液燃烧需要的空气量计算	(211)
(一)理论空气量的计算	(211)
(二)实际所需空气量的计算	(212)
二、固形物燃烧所产烟气量的计算	(212)
三、燃烧后熔融物量的计算	(212)
(一)参加还原反应的芒硝量计算	(212)
(二)燃烧还原反应后形成的硫化钠计算	(212)
(三)未参加还原反应的芒硝量计算	(212)
(四)由于有机硫回收所得硫化钠量计算	(213)
(五)由有机硫回收生成硫化物所耗氢氧化钠量的计算	(213)
(六)碳酸化作用生成碳酸钠量的计算	(213)
(七)熔融物中碳酸钠总量的计算	(213)
(八)熔融物总量的计算	(213)
(九)燃烧后熔融物量的计算实例	(213)
四、黑液固形物发热量的计算	(216)
(一)相同浓度黑液固形物发热量计算	(216)
(二)不同浓度黑液的发热量计算	(216)
五、喷射炉中余热锅炉产汽量的简单计算	(217)
六、燃烧设备的工艺计算	(217)
(一)喷射炉尺寸的计算	(217)
(二)文丘里喉管选择计算	(217)
(三)旋风分离器的选择计算	(218)
(四)送风机的选择计算	(218)
(五)引风机的选择计算	(219)
第四节 绿液的苛化工艺计算	(220)
一、白液成分的计算	(220)
(一)氢氧化钠含量的计算	(220)
(二)硫化钠含量的计算	(220)
(三)碳酸钠含量的计算	(220)
(四)硫酸钠含量的计算	(220)
(五)总碱含量的计算	(220)
二、苛化反应理论平衡常数的计算	(220)
三、苛化率与平衡常数的关系	(221)
四、苛化器蒸汽用量的计算	(221)
五、苛化钠生成量的计算	(222)
六、苛化石灰消耗量的计算	(222)
(一)方法一	(222)
(二)方法二	(223)

第五节 白泥回收的工艺计算	(223)
一、白泥量的计算	(223)
(一)方法一	(223)
(二)方法二	(223)
二、石灰转窑的生产能力计算	(224)
(一)对于长径比为 15~20 的转窑计算	(224)
(二)石灰转窑产量的经验计算	(224)
三、石灰在转窑中停留时间计算	(224)
四、石灰转窑转速的计算	(225)
第六节 从蒸煮到苛化碱、硫衡算示例	(225)
一、碱衡算示例	(225)
二、硫衡算示例	(226)
第十一章 红液的回收工艺与设备计算	(227)
第一节 红液的组成及性质计算	(227)
一、红液的相对密度、波美度、浓度与温度的关系	(227)
(一)亚硫酸氢镁红液	(227)
(二)镁盐红液相对密度、波美度与固形物含量的关系	(227)
(三)酸性亚硫酸钙红液	(227)
(四)红液的相对密度、浓度与温度的关系	(228)
二、镁盐红液固形物的元素组成	(229)
三、红液的粘度计算	(229)
(一)亚硫酸氢镁红液的粘度计算	(229)
(二)酸性亚硫酸盐红液的粘度计算	(231)
四、红液的冰点和沸点的变化计算	(232)
(一)红液的冰点的变化计算	(232)
(二)红液的沸点变化计算	(232)
五、红液的热容量(比热)计算	(233)
六、红液的发热量	(233)
七、红液的导热系数	(233)
第二节 红液的蒸发工艺计算	(234)
一、背压蒸发系统平衡计算及示例	(234)
二、四效真空蒸发平衡计算及示例	(235)
三、热泵蒸发系统平衡计算及示例	(236)
第三节 红液的燃烧工艺计算	(237)
一、亚硫酸镁法苇浆红液燃烧计算及实例	(237)
二、炉气中过剩空气率的计算	(238)
三、硫化床燃烧红液的计算及实例	(238)
(一)国外硫化床燃烧红液计算实例	(238)
(二)国内某厂以硫化床试烧红液中间试验计算及实例	(240)
第四节 红液的综合利用计算	(241)
一、铁铬木素磺酸盐的制备计算	(241)
(一)铁铬混合液的配制	(241)
(二)置换氧化反应操作顺序	(242)

(三)混合液用量计算	(242)
(四)产品的氧化度计算	(242)
二、酒精的制备中和剂的理论用量计算	(242)
第十二章 打浆工艺与设备的计算	(243)
第一节 打浆的特性计算	(243)
一、打浆设备的有效刀边长度计算	(243)
二、打浆有效动力的计算	(243)
三、比刀边负荷的计算	(243)
四、比打浆能量的计算	(244)
第二节 间歇打浆机的工艺计算	(244)
一、打浆机的性能指标计算	(244)
(一)打浆机的型号和主要技术特征	(244)
(二)打浆机的切断能力计算	(244)
(三)飞刀与底刀接触面积的计算	(245)
(四)打浆系数的计算	(245)
(五)打浆比压的计算	(245)
(六)撕碎能力的计算	(246)
(七)刀口系数的计算	(247)
(八)水化作用系数的计算	(247)
二、打浆机的生产能力计算	(248)
三、打浆机所需台数的确定计算	(248)
四、打浆辊线速度的计算	(248)
五、打浆机的受力计算	(248)
(一)打浆机底刀受力计算	(248)
(二)飞刀辊作用在底刀上的力的计算	(250)
六、打浆机所需功率的计算	(250)
(一)打浆机的有效功率	(250)
(二)打浆机的无效功率	(251)
(三)打浆机所消耗的总轴功率	(252)
(四)打浆机所需电机功率	(252)
七、打浆机的设计计算	(253)
(一)选取 K_1 、 K_2 值	(253)
(二)求打浆机的切断速度 V	(253)
(三)飞刀和底刀的厚度 δ_1 和 δ_2	(253)
(四)确定打浆辊的尺寸的转速 n	(254)
(五)确定飞刀和底刀数目	(254)
(六)浆盆的几何尺寸的确定	(255)
(七)山形部前坡曲线形状	(255)
(八)山尖的宽度	(256)
第三节 连续打浆设备的串并联台数的确定计算	(256)
一、并联台数的确定计算	(256)
二、串联台数的确定计算	(256)
(一)根据打浆度的提高进行计算	(256)

(二)根据打浆电耗进行计算	(257)
第四节 圆柱精浆机的工艺计算	(258)
一、圆柱精浆机的磨浆特性计算	(258)
(一)磨浆面积计算	(258)
(二)磨浆比压的计算	(258)
(三)切断能力	(259)
(四)撕裂能力	(259)
(五)刀口系数	(259)
(六)磨浆系数	(259)
二、常用圆柱精浆机的技术特征	(260)
三、浆料通过刀槽等空隙的总截面积计算	(260)
四、圆柱精浆机打浆效率的计算	(261)
第五节 盘磨机的工艺计算	(261)
一、盘磨机的磨浆面积计算	(261)
二、盘磨机的主要技术特征	(262)
三、盘磨机的磨浆特性计算	(262)
(一)盘磨机的切断速度计算	(262)
(二)有效打浆面积	(262)
(三)磨浆比压	(263)
(四)单位面积剪切摩擦力	(263)
(五)打浆能力	(263)
四、纤维在磨区内停留的时间计算	(263)
(一)当定盘与转盘不同时	(263)
(二)当定盘与转盘相同时	(263)
五、盘磨机机械加压的挤压力计算	(264)
六、盘磨机的动力消耗计算	(264)
(一)盘磨机的启动负荷计算	(264)
(二)盘磨机的磨浆电流负荷计算	(265)
(三)盘磨机的动力消耗计算	(266)
七、盘磨机的能量消耗计算	(269)
八、盘磨机的节能计算	(270)
(一)盘磨机的选择对节能的影响计算	(270)
(二)盘磨机的转速对节能的影响计算	(270)
第六节 水力碎浆机的工艺计算	(271)
一、水力碎浆机的生产能力计算	(271)
二、水力碎浆机的功率计算	(271)
第十三章 施胶与加填的工艺计算	(273)
第一节 施胶的工艺计算	(273)
一、施胶的理论计算	(273)
(一)胶料的渗透速度计算	(273)
(二)液体的渗透深度计算	(273)
二、施胶的工艺计算	(273)
(一)松香皂化用碱量的计算	(273)

(二) 矾土溶液中标准硫酸铝含量的近似计算	(274)
(三) 施胶压榨的胶料附着量的计算	(274)
第二节 加填的工艺计算	(275)
一、填料的性能计算	(275)
(一) 常用填料的性能计算	(275)
(二) 填料对光学性质的反应计算	(275)
(三) 填料的散射系数计算	(276)
二、加填的工艺计算	(277)
(一) 常见纸张的加填量	(277)
(二) 自动连续加填的流量控制计算	(277)
(三) 填料留着率的计算	(278)
(四) 二氧化钛添加量的变化引起不透明度变化的计算	(279)
(五) 由加填量计算成纸灰分和打浆周期	(279)
第十四章 造纸机网前供浆系统的工艺与设备的计算	(281)
第一节 浆料的贮存工艺及设备计算	(281)
一、贮浆池容积的计算	(281)
二、贮浆池个数的确定	(281)
三、贮浆池排浆流量的计算	(281)
四、卧式贮浆池的工艺计算	(282)
(一) 浆料在浆池中的摩擦阻力计算	(282)
(二) 浆池内浓度与浆速的关系	(282)
(三) 浆料浓度与浆池长度的关系	(282)
(四) 采用螺旋桨推进器的贮浆池尺寸确定计算	(282)
(五) 浆沟中流速的选定计算	(283)
(六) 螺旋桨推进器每转推送浆量的计算	(284)
(七) 螺旋桨的转数计算	(284)
(八) 螺旋桨的功率计算	(285)
(九) 螺旋桨所用电机的选择	(286)
(十) 螺旋桨循环器的主要特性及选择	(287)
(十一) 涡轮循环器的规格及选择	(287)
(十二) 循环泵的性能	(288)
(十三) 螺叶式搅拌器的计算	(289)
第二节 纸料净化系统工艺计算	(289)
第三节 配浆的工艺计算	(291)
一、鼓式配浆器的工艺计算	(291)
(一) 立式转鼓配浆器送浆量的计算	(291)
(二) 卧式转鼓配浆器输出浆料的计算	(291)
二、孔板式配浆器孔板流量的计算	(292)
三、压力式配浆箱的输送浆量计算	(292)
第四节 调浆箱的工艺计算	(293)
一、调浆箱稀释用白水量的估算	(293)
二、调浆箱送往纸机的纸料量计算	(293)
第十五章 长网造纸机的工艺计算	(294)

第一节 网前箱的工艺计算	(294)
一、锥管布浆器的工艺计算	(294)
(一)总管进浆量的计算	(294)
(二)锥管细端回流率的计算	(294)
(三)加速比的计算	(295)
(四)锥管细端流速和流量的计算	(295)
(五)锥管尺寸的设计计算	(295)
二、匀浆辊的工艺计算	(297)
(一)匀浆辊孔辊的辊径的计算	(297)
(二)孔辊的位置计算	(298)
(三)辊面排孔的计算	(299)
(四)开孔率的计算	(299)
(五)浆料通过孔辊的压头损失计算	(300)
(六)匀浆辊距堰板的最小距离计算	(301)
三、孔板的工艺计算	(301)
(一)孔板孔数的计算	(301)
(二)孔板浆流产生的压力降的计算	(302)
四、阶梯扩散器浆流压力降的计算	(302)
(一)第一段孔进口处的压头损失	(303)
(二)孔段中的压头损失	(303)
(三)孔段出口处的压头损失	(303)
(四)总的压头损失	(303)
五、堰池的工艺计算	(304)
(一)进浆量的计算	(304)
(二)溢流浆量的计算	(304)
(三)堰池内纸料高度的计算	(304)
(四)溢流浆位高度的计算	(305)
(五)堰池纸料流速的计算	(306)
六、堰板的工艺计算	(306)
(一)堰板闸口开度的计算	(306)
(二)堰板喷唇的宽度计算	(309)
(三)堰板的收缩系数、流速系数以及流量系数之间的关系	(310)
七、喷浆的工艺计算	(311)
(一)喷浆流速的计算	(311)
(二)喷浆量的计算	(312)
(三)喷浆的压头计算	(313)
(四)纸料喷射角的计算	(315)
(五)着网点的计算	(315)
(六)浆网速比的计算	(316)
八、流浆箱的设计计算	(316)
(一)流量的确定计算	(316)
(二)计算流速的确定	(316)
(三)设计计算步骤与方法	(317)
(四)方锥管的设计计算实例	(320)

(五)多孔板流浆箱的设计计算实例	(321)
第二节 网部的工艺计算	(325)
一、网部的理论计算	(325)
(一)网部脱水速度的计算	(325)
(二)真空条件下的脱水量计算	(325)
(三)网部浆料过滤阻力的计算	(325)
(四)滤水速度与比过滤阻力及定量的关系计算	(326)
(五)纤维成形中浓度的变化计算	(326)
(六)纤维层的弹性压缩计算	(326)
(七)纸页脱水过程中纸张强度与纤维含量的关系	(327)
(八)通过纤维层的液体流动惯性计算	(327)
二、案辊的脱水工艺计算	(328)
(一)案辊脱水抽吸力的计算	(328)
(二)案辊产生的最大真空度的计算	(328)
(三)案辊脱水量的计算	(329)
(四)案辊滤水层厚度计算	(330)
(五)案辊上浆流层厚度计算	(330)
(六)案辊上的浆料浓度计算	(330)
(七)案辊出侧水楔的临界角计算	(330)
(八)案辊后纸料流量的计算	(331)
三、网部摇振的工艺计算	(331)
(一)摇振数的计算	(331)
(二)摇振强度的计算	(332)
(三)摇振位移的计算	(332)
(四)摇振速度的计算	(332)
(五)摇振加速度的计算	(333)
(六)摇振器惯性力的计算	(333)
(七)摇振器支承板簧的挠度和刚度计算	(333)
(八)摇振需用功率的计算	(334)
(九)偏重式摇振器的共振计算	(334)
(十)摇振器的振幅计算	(335)
四、脱水板的工艺计算	(335)
(一)脱水板楔形真空区中真空度的分布计算	(335)
(二)成形板脱水量的计算	(336)
(三)脱水板的面宽计算	(337)
(四)脱水板架的最大挠度计算	(337)
(五)使用脱水板的节能计算	(337)
五、真空吸水箱的工艺计算	(337)
(一)吸水箱真空度的计算	(337)
(二)吸水箱抽气量的计算	(338)
(三)吸水箱的尺寸计算	(338)
(四)吸水箱面与成形网的摩擦力计算	(340)
(五)吸水箱克服摩擦阻力所耗功率计算	(340)
(六)吸水箱后纸幅干度的计算	(340)

(七)纸页在吸水箱上的脱水时间的计算	(340)
(八)吸水箱总面积的计算	(341)
(九)湿真空箱的水封管高度计算	(341)
(十)湿吸箱脱水量的计算	(341)
(十一)湿吸箱的尺寸确定计算	(342)
(十二)吸水箱后纸料量的计算	(342)
六、伏辊及损纸池的工艺计算	(343)
(一)真空伏辊抽气量的计算	(343)
(二)真空伏辊真空度的确定	(343)
(三)真空伏辊内真空箱箱口面积的计算	(345)
(四)真空伏辊传动能力的计算	(345)
(五)真空伏辊传递功率的计算	(345)
(六)真空伏辊辊面排孔的计算	(346)
(七)真空伏辊“消音车速”的计算	(349)
(八)伏辊后纸料量的计算	(350)
(九)伏辊损纸池有效容积的计算	(350)
(十)伏辊损纸池搅拌桨叶直径的选取	(350)
七、网案及成形网的工艺计算	(351)
(一)网案面积的计算	(351)
(二)网案有效面积的计算	(351)
(三)网案长度的计算	(351)
(四)网案单位有效面积产纸量(网案出力)的计算	(351)
(五)网案出力的校核计算	(352)
(六)网案生产能力的计算	(353)
(七)网案高度的计算	(353)
(八)成形网上湿纸幅宽的计算	(354)
(九)成形网长度的计算	(354)
(十)成形网宽的计算	(356)
(十一)网速的计算	(357)
(十二)成形网的寿命计算	(357)
八、成形网张紧装置的计算	(357)
(一)气动自动紧网装置产生的理论张力计算	(357)
(二)复合滑轮式自动紧网装置理论张力的计算	(358)
(三)重锤式张紧器的压力计算	(358)
九、网部向压榨部递纸的张力计算	(359)
(一)马登(J·Mardon)计算公式	(359)
(二)沃斯特贝格(L·Ostevig)计算公式	(359)
十、驱网辊动力的消耗计算	(359)
十一、网部辊筒的尺寸规范及强度计算	(360)
(一)案辊的计算	(360)
(二)胸辊的尺寸及强度、挠度及中高计算	(360)
(三)导网辊的计算	(364)
(四)整饰辊的计算	(365)
(五)普通伏辊的计算	(365)

(六)真空伏辊的计算	(367)
第三节 压榨部的工艺计算	(368)
一、压榨的理论计算	(368)
(一)压榨所需时间的计算	(368)
(二)压榨脱水量的计算	(368)
(三)双毯压榨的流速计算	(368)
(四)双毯压榨的流量计算	(369)
(五)压榨纸页的最终水分计算	(369)
二、压榨的压力计算	(369)
(一)杠杆重锤式加压装置产生的附加压力计算	(369)
(二)气动加压提升装置的附加压力计算	(371)
(三)液压缸式加压提升机构的附加压力计算	(371)
(四)膜式气动加压提升机构附加压力的计算	(371)
(五)螺旋加压的压力计算	(372)
(六)压区宽度的计算	(372)
(七)压区平均压力的计算	(373)
(八)压区最大压力的计算	(374)
(九)压榨的线压力与偏心距的关系计算	(374)
(十)压榨线压工艺参数	(375)
三、压榨辊的尺寸规范计算	(376)
(一)压榨辊的直径的确定计算	(376)
(二)压榨辊面宽的确定计算	(377)
四、压榨辊的强度及挠度计算	(378)
(一)辊筒的相对挠曲率的计算	(378)
(二)普通压榨辊的强度及挠度计算	(378)
(三)真空压榨辊的强度及挠度计算	(384)
(四)中固辊的强度及挠度计算	(387)
五、石辊的计算	(389)
(一)花岗岩辊体的固装条件计算	(389)
(二)花岗岩辊体的应力计算	(390)
(三)固装时芯轴升温的计算	(391)
六、不同抗挠结构的压榨辊的搭配计算	(391)
(一)上辊为中固辊或芯辊而下辊为普通结构辊的搭配计算	(391)
(二)上辊为普通结构辊而下辊为中固辊的搭配计算	(392)
(三)上下辊均为抗挠结构辊的搭配计算	(394)
(四)与可控中高辊的搭配计算	(395)
七、压榨辊中高的计算	(395)
(一)中高的计算与分配	(395)
(二)胶辊辊面的中高——周长中高度的计算	(396)
(三)双辊压榨中压榨辊中高的计算与分配	(396)
(四)复合压榨中高的计算与分配	(397)
(五)几种典型纸机的中高度	(399)
(六)中高辊面曲线的绘制计算	(399)
(七)用试验法求普通结构辊子的刚度及中高度	(401)

(八) 辊面胶层对辊筒中高的影响计算	(402)
(九) 压榨辊中高的校核计算	(403)
(十) 中高度的应用计算	(404)
(十一) 生产中常用中高参考数据	(404)
八、压榨辊的磨削计算	(406)
(一) 软胶辊的磨削计算	(406)
(二) 中高在压辊各部位位置的分布计算	(407)
(三) 压辊各部位位置的中高比值计算	(409)
(四) 用中高比值计算中高在压辊上的分布	(409)
(五) M_{8408A} 滚筒磨床中高装置的计算	(410)
(六) 中高外圆磨床的中高装置计算	(410)
(七) M_{1408} 滚筒磨床的中高装置调整查图计算	(413)
(八) 中高装置磨削中高的近似计算	(414)
(九) 中高装置磨削中高的表格记录法	(414)
九、压榨偏心距的测定计算	(414)
(一) 双辊压榨偏心距的计算	(415)
(二) 三辊压榨的偏心距的计算	(416)
十、沟纹压榨的工艺计算	(417)
(一) 沟纹理论充水率的计算	(417)
(二) 采用沟纹压榨代替真空压榨的节能计算	(417)
十一、毛毯及其校正的有关计算	(418)
(一) 毛毯的定货长度计算	(418)
(二) 毛毯的定货宽度计算	(418)
(三) 造纸机压榨部分两侧之间的净空宽度 b_s 计算	(418)
(四) 毛毯挤水辊的面宽计算	(418)
(五) 毛毯空隙率的计算	(419)
(六) 毛毯透气性与毛毯厚度的关系	(419)
(七) 真空洗毯器真空泵的选用	(419)
(八) 毛毯气动校正器的最大压力计算	(421)
(九) 毛布的标准线弯斜的调整规律	(422)
十二、刮刀的有关计算	(423)
(一) 刮刀片长度的计算	(423)
(二) 刮刀体挠度的计算	(423)
(三) 刮刀体的自由振动自然频率计算	(423)
(四) 刮刀的临界转速计算	(423)
(五) 刮刀在辊面上的线压力计算	(424)
第四节 干燥部的工艺计算	(424)
一、干燥过程的热量传递理论计算	(424)
(一) 热传导的计算	(424)
(二) 辐射热的传递计算	(425)
(三) 对流传传热量的计算	(425)
(四) 总传热系数的计算	(425)
(五) 湿纸页干燥过程中单向瞬变热量流动方程式	(425)
(六) 水分蒸发速率的计算	(426)

二、干燥速率的计算	(427)
(一)对流干燥的干燥速率计算	(427)
(二)接触干燥的干燥速率计算	(427)
三、蒸发水量的计算	(428)
(一)每千克成纸中蒸发水量的计算	(428)
(二)烘缸单位有效面积蒸发水量(烘缸出力)的计算	(428)
(三)干燥部被蒸发的水分重量计算	(429)
四、烘干部需要的有效干燥面积的计算	(429)
五、烘缸的有关计算	(430)
(一)烘缸的有效干燥面积计算	(430)
(二)干燥部需烘缸个数的计算	(430)
(三)烘缸出力的计算	(431)
(四)烘缸的有效面积利用系数计算	(431)
(五)烘缸总面积利用系数的计算	(432)
(六)烘缸内形成水环的临界速度计算	(432)
(七)烘缸缸壁厚度的计算	(432)
(八)烘缸内蒸汽加热部分的长度计算	(433)
六、干燥部耗热量及蒸汽消耗量的计算	(433)
(一)一段通汽的耗热量及蒸汽消耗量计算	(433)
(二)分段通汽时干燥纸的耗热量及蒸汽消耗量的计算	(434)
(三)干燥部的总耗汽量的估算及蒸汽管管径的选择计算	(436)
七、冷缸的计算	(436)
(一)冷缸用水流量的计算	(436)
(二)冷缸冷却带走的热量 Q_c 的计算	(436)
(三)冷缸耗水量的计算	(437)
八、抄纸车间蒸汽冷凝露点温度的计算	(437)
九、干燥部的节能计算	(438)
(一)提高进烘干部纸页干度的蒸汽节约量的计算	(438)
(二)提高湿部温度后纸页干度的提高计算	(438)
(三)增加压榨线压力提高纸页干度的计算	(438)
第五节 压光、卷曲、完成部的工艺计算	(439)
一、普通压光机的工艺计算	(439)
(一)压光机底辊的总负荷计算	(439)
(二)压光机底辊中高的计算	(439)
(三)压光机顶辊挠度的计算	(439)
二、卷纸机的工艺计算	(440)
(一)卷纸机上的毛纸幅宽计算	(440)
(二)卷筒纸在机重量估算	(440)
(三)卷纸机上的毛纸理论产量计算	(441)
(四)卷纸机卷筒直径的变化计算	(441)
(五)卷筒中纸的长度的计算	(441)
(六)卷纸的圆周速度计算	(442)
(七)卷筒的角速度计算	(442)
(八)卷纸机的运转条件计算	(442)

(九)轴式卷纸机卷纸所需时间的计算	(442)
(十)卷纸机的旋转速度的变化规律计算	(443)
(十一)卷曲的有效力矩的计算	(443)
(十二)机械式摩擦离合器的摩擦盘所需的压力计算	(443)
(十三)轴式卷纸机的效率计算	(443)
(十四)卷纸机退纸时纸卷直径的变化计算	(444)
(十五)退纸时间的计算	(444)
(十六)退纸长度的计算	(444)
三、超级压光机的工艺计算	(444)
(一)超级压光机的生产能力计算	(444)
(二)金属辊与纸粕辊间的微滑动计算	(444)
(三)纸粕辊变形面积的宽度计算	(445)
(四)平均比压的计算	(445)
(五)线压力的计算	(446)
(六)底辊轴承的总负荷的计算	(446)
(七)第二下辊上的水平负荷计算	(446)
(八)机架下部的垂直负荷计算	(447)
(九)压辊水平负荷作用于机架上的力的计算	(447)
(十)由水平力所产生的总弯矩的计算	(448)
(十一)由加压机构所产生的弯矩计算	(448)
(十二)弯曲强度的计算	(449)
(十三)轴承工作容量系数的确定计算	(449)
(十四)外加油压力的计算	(449)
(十五)多片式摩擦卷纸制动器制动力矩的计算	(450)
(十六)退纸轴摩擦制动器的热损失计算	(451)
(十七)气压的盘式和片式制动器的有关计算	(451)
(十八)纸卷张力自动调节系统的电气计算	(451)
(十九)超级压光机的功率计算	(452)
(二十)平尺对于大跨距产生的挠度计算	(453)
(二十一)纸粕辊的压制中套纸次数计算	(453)
(二十二)纸粕层的硬度计算	(453)
(二十三)纸粕辊轴尺寸的计算	(454)
(二十四)ZWC ₁ 型超级压光机纸粕辊的应力验算	(456)
(二十五)纸粕辊运行时产生的热量计算	(457)
(二十六)退纸轴制动器热损失的计算	(458)
四、复卷机的工艺计算	(458)
(一)复卷机的生产能力计算	(458)
(二)压纸辊的压力调整计算	(459)
(三)复卷机制动器的力矩计算	(460)
(四)纸卷支承辊的载荷计算	(461)
(五)复卷机所需功率的计算	(462)
五、切纸机及接纸装置的计算	(462)
(一)切纸机的纵切切纸长度及误差率的计算	(462)
(二)切纸机横切切纸长度的计算	(463)

(三)横切剪纸时间的计算	(463)
(四)剪切功率的计算	(464)
(五)横切机底刀和旋转刀的偏移值的计算	(464)
(六)接纸台的升降速度计算	(465)
六、纸的整装的工艺计算	(465)
(一)纸的令重(英制)的计算	(465)
(二)纸的令重(SI制)的计算	(465)
(三)不同尺寸的令重及定量间的相互换算	(465)
(四)令重(英制)与定量(g/m^2)间的相互换算	(467)
(五)纸的定量、令重及吨令的速查	(467)
第六节 长网造纸机的综合工艺计算	(468)
一、造纸机的生产能力及产量的计算	(468)
(一)纸机抄造量的计算	(468)
(二)造纸机的理论产量计算	(469)
(三)造纸机的实际产量(生产能力)的计算	(470)
(四)纸机产量及班产纸令数估算	(471)
(五)纸机成品纸的产量计算	(471)
(六)卷筒纸产量的计算	(472)
(七)平板纸产量的计算	(472)
二、造纸机的车速计算	(473)
(一)纸机最大工作车速的计算	(473)
(二)纸机最佳车速的计算	(473)
(三)纸机平均车速的计算	(474)
三、上网浆浓与车速波动对纸的定量的影响计算	(475)
四、纸机车速与纸的定量的变化关系计算	(475)
五、纸机白水中总的绝干固形物含量的计算及实例	(476)
(一)排入废水中绝干固形物的量的计算	(476)
(二)排出废水量的计算	(476)
(三)纸中含水量的计算	(476)
(四)蒸发水量的计算	(476)
(五)废水中绝干固形物含量计算	(476)
(六)白水中绝干固形物含量的计算实例	(477)
六、成品纸中填料含量及纸的定量的计算及实例	(478)
七、纸机的传动计算	(479)
(一)纸机局部与总体速度不同步的原因及调整计算实例	(479)
(二)皮带轮直径变化后接(或截)皮带的长度计算	(480)
(三)纸机车速与皮带轮直径的关系计算	(480)
(四)开口皮带长度的估算	(480)
(五)强尼龙带总轴传动的设计计算	(481)
八、造纸机传动功率的计算	(483)
(一)单位指标法	(483)
(二)分步计算法	(484)
(三)经验计算法	(489)
第七节 长网造纸机的技改计算	(490)

一、网前供浆系统及流浆箱的技改计算	(490)
(一)压力筛 V 型皮带的调整计算	(490)
(二)流浆箱的压头损失计算	(490)
(三)实际压头给定与投入运转计算	(492)
(四)浓度的调整及堰口开度的计算	(494)
(五)着网点的控制计算	(494)
二、网部的技改计算	(495)
(一)张网装置的张力预选	(495)
(二)高压喷洗装置中高压泵运行的调整计算	(495)
(三)胸辊中高曲线的绘制计算	(496)
(四)真空伏辊小室密封压力的控制计算	(496)
(五)铜网的计算	(497)
三、压榨部的技改计算	(498)
(一)真空压辊真空宽度的调整计算	(498)
(二)可控中高辊油压控制系统计算器的运算	(498)
(三)压区的压力计算	(500)
(四)压榨辊的中高曲线	(502)
(五)压榨辊中高的研磨计算	(502)
四、干燥部的技改计算	(503)
(一)烘缸内水环形成的临界速度计算	(503)
(二)水环厚度与车速的关系计算	(504)
(三)干毯张力与气缸压力的关系计算	(504)
(四)离心风机的计算	(505)
(五)热水循环系统膨胀器膨胀容量的计算	(505)
五、伸性装置的计算	(506)
(一)伸性缸的加热时间的确定	(506)
(二)硅油喷涂系统计量泵的流量计算	(507)
(三)伸率与车速的计算	(507)
六、主轴传动转矩离合器的正定负荷计算	(508)
第十六章 圆网造纸机的工艺计算	(509)
第一节 圆网成形器的工艺计算	(509)
一、浆速与网速的关系计算	(509)
二、圆网临界速度的计算	(509)
(一)顺流溢浆式网槽的临界速度计算	(509)
(二)加压圆网的临界速度计算	(510)
三、圆网笼上纸页临界离心力的计算	(510)
四、弧形板上浆点的浆速计算	(511)
五、圆网纸机的车速计算	(511)
(一)圆网机的实际车速计算	(511)
(二)纸机最大工作车速的计算	(511)
六、圆网造纸机抄造量的计算	(512)
七、圆网纸机产纸量的计算	(512)
八、圆网机生产能力的计算	(513)
九、圆网笼过滤面积的计算	(513)

十、网笼直径的计算	(513)
十一、圆网部的浆水平衡计算	(513)
第二节 圆网槽的工艺计算	(515)
一、传统圆网槽的设计计算	(515)
(一)网槽的高度和液位尺寸的设计计算	(515)
(二)网槽的流道尺寸的设计计算	(516)
二、顺流溢浆网槽的设计计算	(517)
(一)顺流溢浆网槽“牛角道”尺寸的计算	(517)
(二)“牛角道”中浆料流速的计算	(518)
(三)顺流溢浆式网槽的设计计算实例	(518)
三、扩散式弧形板网槽的设计计算	(524)
(一)纸机每小时产量 G	(524)
(二)绝干纸产量 G'	(524)
(三)网槽进浆量 Q	(525)
(四)突扩处(B 处)截面积 F_B	(525)
(五)突扩处(B 处)的纸料流速 V_B	(525)
(六)设计计算实例	(525)
四、限流式网槽的设计计算	(526)
(一)圆网成形器脱水能力的计算	(526)
(二)成形弧长的计算	(526)
(三)限流式网槽的生产能力计算	(527)
(四)总成形角 θ 的计算	(527)
(五)所需绝干纤维量 G'	(527)
(六)总进浆量的计算	(527)
(七)成形区进出口宽度 d_0, d'	(527)
(八)限流式网槽设计计算实例	(528)
第三节 圆网压榨的工艺计算	(529)
一、杠杆重锤加压上压榨辊的附加压力计算	(529)
二、下压辊所受总压力的计算	(529)
三、气动加压附加压力的计算	(529)
四、压榨辊的线压力的计算	(530)
第四节 干燥部的工艺计算	(530)
一、传热计算	(530)
二、传质速率的计算	(531)
第五节 圆网造纸机的尺寸规范计算	(531)
一、抄宽的计算	(531)
二、网面总宽 B_1	(531)
三、网面有效宽度 B_2	(532)
四、网笼的面宽计算	(532)
五、网槽的幅宽计算	(532)
六、伏辊面宽的计算 B_3	(532)
七、烘缸面宽 B_4	(532)
八、托辊面宽 B_5	(532)

九、压榨辊面宽 B_6	(533)
十、真空脱水网辊压榨上辊面宽 B_7	(533)
第六节 板纸及皱纹纸的工艺计算	(533)
一、多圆网纸板机的毛纸产量计算	(533)
二、多层圆网纸板的面层收缩率的计算	(534)
三、瓦楞原纸的边压强度计算	(535)
四、纸板各层浆料量及其打浆周期的计算	(535)
五、板纸面层浆的含量及板纸填料含量的计算	(536)
六、板纸相对耐破度及其与浆料配比的关系计算	(536)
七、纤维板热压机的工作压力计算	(537)
八、皱纹纸起皱的皱折度的计算	(537)
第十七章 加工纸的工艺计算	(538)
第一节 印刷类涂布纸的工艺计算	(538)
一、分散剂的种类及性能计算	(538)
二、颜料的粒度及对制品性能的影响计算	(538)
(一)高岭土粒度标准	(540)
(二)高岭土粒径与制品光泽度、白度的关系	(540)
(三)高岭土粒径与制品不透明度的关系	(540)
(四)高岭土、碳酸钙不同配合比与各胶种对制品白度的关系	(541)
(五)不同颜料配比的涂布量与白度的关系	(541)
(六)不同配合比与各胶种对光泽度的关系	(541)
三、粘合剂的性质及对制品性能的影响	(541)
四、加工纸涂液量的计算	(542)
第二节 复合类加工纸挤出机的生产率(流量)的计算	(543)
第三节 黑白照像纸乳剂涂布的厚度计算	(545)
第四节 内燃机用滤纸的最大孔径的测定计算	(545)
第五节 变性加工纸的工艺计算	(546)
一、钢纸的工艺计算	(546)
(一)钢纸原纸卷取层数的计算	(546)
(二)钢纸原纸定量与浸渍时间的关系	(546)
(三)碾压烘缸线压力的计算	(546)
(四)氯化锌溶液回收与净化的计算	(547)
二、植物羊皮纸的加工计算	(548)
(一)植物羊皮原纸制造工艺参数	(548)
(二)配酸与回收的计算	(548)
第六节 刮刀涂布的工艺计算	(549)
一、槽式软刀刮刀涂布量的计算	(549)
二、气垫刮刀涂布量的计算	(550)
第十八章 制浆造纸生产过程的物料平衡计算	(551)
第一节 制浆生产过程的浆水平衡计算	(551)
一、确定流程方框图	(551)
二、选定平衡计算所需的有关定额和工艺技术数据	(552)
三、计算步骤和方法	(552)

四、浆水平衡方框图	(564)
第二节 造纸生产过程的浆水平衡计算	(564)
一、确定流程方框图	(564)
二、选定平衡计算所需的有关定额和工艺技术数据	(564)
三、计算步骤与方法	(564)
四、绘制造纸车间浆水平衡图	(578)
第三节 碱回收生产过程的物料平衡计算	(580)
一、燃烧工段的物料平衡计算	(580)
二、苛化工段物料平衡计算	(588)
第四节 造纸车间白水处理平衡计算	(593)
一、沉淀法白水处理平衡计算	(594)
二、气浮法白水处理平衡计算	(595)
三、过滤法白水处理平衡计算	(596)
附表一 常用计量单位表示符号	(599)

第一篇 制浆造纸生产过程 的工艺与设备计算

第一章 备料过程的工艺与设备计算

第一节 原料场的计算

一、原料场贮料量的计算

【说明】原料场贮料量的多少,必须根据生产规模、原料种类及相应的贮备天数来决定。贮备的天数,木材原料大约是2~3个月,草类原料大约是7~10个月。

【公式】

$$Q_1 = \frac{TQ}{1-f} \quad (1-1-1)$$

$$Q_2 = \frac{TQ}{(1-f)\rho} \quad (1-1-2)$$

$$Q = \frac{q}{\alpha(1-\beta)(1-W)}$$

$$\alpha = \alpha_1\alpha_2\alpha_3$$

$$\beta = [1 - (1 - \beta_1)(1 - \beta_2)(1 - \beta_3)]$$

式中 Q_1 —— 对非原木原料场最大贮料量(t)

Q_2 —— 对原木原料场最大贮料量(m³)

Q —— 每天的需料量(t)

T —— 贮备天数(d)

f —— 贮存运输损失率(%)

ρ —— 原木的相对密度(水分为 W 时)

α —— 成浆率(%)

α_1 —— 洗涤后粗浆得率(%)

α_2 —— 筛选得率(%)

α_3 —— 漂白得率(%)

β —— 备料总损失率(%)

β_1 —— 剥皮损失率(指原木)(%)

β_2 —— 削片或漂白损失率(%)

β_3 —— 木片或草片筛选损失率(%)

W —— 原料含水量(%)

q ——制浆车间每天(24h)生产的绝干浆量(t)

二、原木贮木场的面积计算

(一)水上贮木场的面积计算

【说明】水上贮木场的面积,可根据贮存时间和安全贮备量计算。每立方米原木所需水面面积可参考如下数据:

散放: $8 \sim 10 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 实积

单层木排: $7 \sim 9 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 实积

双层木排: $4 \sim 5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 实积

多层木排(倾射角不少于 20°): $1.6 \sim 3 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 实积

扎捆: $1.5 \sim 1.6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 实积

【公式】

$$S = S_1 QT \quad (1-1-3)$$

式中 S ——贮木场面积(m^2)

S_1 ——每立方米原木所需水面面积(m^2/m^3 实积)

Q ——安全贮备量(m^3/d)

T ——贮备天数(d)

(二)陆上贮木场的面积计算

【说明】原木陆上贮木场的总面积可按式估算。

【公式】

$$S = nbl \quad (1-1-4)$$

式中 S ——原木场的总面积(m^2)

b ——垛间中心间距(m)

l ——木材堆垛的长度(一般不超过 300m;人工堆垛时,不超过 100m)(m)

n ——木材堆垛个数

$$n = \frac{Q}{Q_1}$$

Q ——贮木场中原木最大备量(m^3)

Q_1 ——每垛原木贮量(m^3)

$$Q_1 = ldhk_1k_2$$

d ——堆垛的宽度(即原木长度)(m)

h ——堆垛的高度(m)

k_1 ——木垛两端凸出部分所占容积的计算系数,可取 0.96

k_2 ——实积系数,指单位堆积体积中,原木的实积数的比率。用成捆堆垒木材的方法时取 0.6;层叠法时取 0.46~0.52;平列法时取 0.6~0.7。因层叠法的实积系数随着原木直径的减少和原木长度的增加而变小,故所用贮木场面积较大。平列法则优于层叠法,故用得比较普遍

三、蔗渣堆垛的通风系数计算

【说明】为了使蔗渣垛中的水分和热量能及时散发出去,蔗渣在堆垛时应留有良好

通风系统。由通风井(图 1-1-1)和通风道(图 1-1-2)构成的蔗渣垛的通风系统,上下贯通,左右相连,可有效地达到散发热量和水分的要求。蔗渣垛一般采用 4.5~5% 的通风系数,就可以防止蔗渣因热解而产生的腐烂变质。

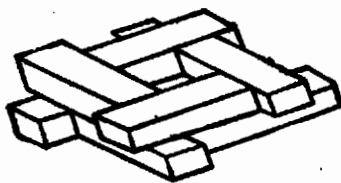


图 1-1-1 通风井口蔗渣包的排列

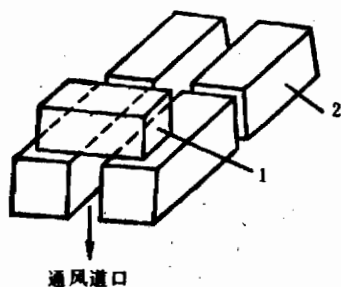


图 1-1-2 通风道蔗渣的排列
1—横包 2—直包

【公式】

$$K = \frac{V_1 + V_2}{V} \times 100\% \quad (1-1-5)$$

式中 K ——通风系数(%)

V_1 ——通风井体积(m^3)

V_2 ——通风道体积(m^3)

V ——蔗渣堆总体积(m^3)

第二节 草类原料的备料计算

一、切草机的计算

(一)切草机的生产能力计算

【公式】

$$G = 60Kbhv\gamma \quad (1-1-6)$$

式中 G ——切草机的生产能力(kg/h)

K ——喂料不平衡系数,一般取 0.8

b ——喂料辊宽度(m)

h ——喂料层堆积厚度(m),一般取 0.2~0.3

v ——喂料速度(m/min)

γ ——原料堆积重度(kg/m^3),常用原料堆积重度为:稻草 55~65;麦草 65~75;芒秆 70~75;高粱秆 60~65;玉米秆 60~65;芦苇 70~75

(二)切草机的切草长度计算

【公式】

$$L = \frac{V}{nZ} \quad (1-1-7)$$

式中 L ——切草长度(m)

V ——喂料速度(m/min)

n —— 飞刀辊转速(r/min)

Z —— 飞刀辊的飞刀片数量

(三)切草机所需台数的计算

【公式】

$$m = \frac{Q}{GK} \quad (1-1-8)$$

式中 m —— 切草机台数

Q —— 需切草机处理的原料量(t/d)

G —— 切草机的生产能力(t/d)

K —— 设备利用系数,取 0.8

(四)切草机的喂料速度的计算

【说明】切草机的喂料速度即压辊速度,要求与飞刀辊转速相配合,否则影响草片长度。

【公式】

$$V = LnZ \quad (\text{m/min}) \quad (1-1-9)$$

式中符号含义及单位见式 1-1-7

(五)切草机电机功率的计算

【说明】切草机所需功率,与刀片的锋利程度有关,一般每切一吨稻麦草,约需 2.5~3.0kW·h 的电力。

【公式】

$$N = KPG \quad (1-1-10)$$

式中 N —— 电动机功率(kW)

P —— 单位耗电量(kW·h/t)

G —— 切草机生产能力(t/h)

K —— 不平衡系数,取 1.1~1.2

二、除尘系统的计算

(一)除尘及其辅助设备的选型计算

【说明】备料系统选用不同的除尘设备,其选型的计算方法和步骤不尽相同,但有类似的规律可循。

1. 风量的计算

【公式】

$$Q = 3600FV \quad (1-1-11)$$

$$\text{或 } Q = 0.785 \times 3600d^2u$$

式中 Q —— 除尘设备或辅助设备的通风量(m^3/h)

F —— 漏风面积(m^2)

V —— 通风口吸风速度(m/s)

d —— 通风管道直径(m)

u —— 管道内除尘空气流速(m/s), 见表 1-1-1

表 1-1-1 管内空气常用流速表

流体名称	流体或管道情况	速度范围(m/s)
除尘空气	低 压	2~15
	高 压	20~25
	鼓风机吸入管	10~15
	鼓风机排出管	15~20
	通 风 管	4~8

2. 通风管道直径的计算

【公式】

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 \times 3600u}} \quad (\text{m}) \quad (1-1-12)$$

式中符号含义及单位同式 1-1-11

3. 通风阻力的计算

① 通风局部阻力计算

【公式】

$$h = \xi \frac{u^2 \gamma}{2} \quad (1-1-13)$$

$$H = \sum \xi \frac{u^2 \gamma}{2} \quad (1-1-14)$$

式中 h —— 局部阻力(Pa)

ξ —— 局部阻力系数, 见表 2-5-20

u —— 空气流速(m/s)(当计算突然扩大管路的局部阻力时, 其流速用小管中的流速), 见表 1-1-1

γ —— 管内空气重度(N/m³)

H —— 局部总阻力(Pa)

$\sum \xi$ —— 各局部阻力系数之和

② 通风直管阻力计算

【说明】直管阻力的计算方法有摩擦系数法和水力坡度法等, 详情请参见第二篇第五章第三节内容。

③ 通风总阻力的计算

【公式】

$$H_{\text{总}} = H_{\text{局}} + H_{\text{直}} \quad (1-1-15)$$

式中, $H_{\text{总}}$ —— 通风总阻力(Pa)

$H_{\text{局}}$ —— 局部总阻力(Pa)

$H_{\text{直}}$ —— 直管总阻力(Pa)

4. 各通风管路的平衡校正计算

【公式】

$$\frac{d'}{d} = \left(\frac{H}{H'}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (1-1-16)$$

式中 d, H —— 设计计算管径及压力损失

d', H' —— 调整后管径及压力损失

n —— 指数, 通常 $4 < n < 5$

(二)回收水泥包装纸的除尘及其辅助设备的选型计算实例

【例】某厂用回收水泥袋纸生产再生水泥袋纸。备料系统采用打灰机、清灰机、旋风除尘器、脉冲袋式除尘器组成,其工艺流程如图 1-1-3。

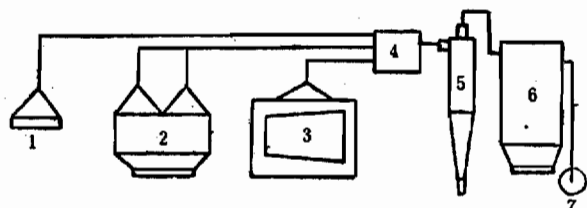


图 1-1-3 废水泥袋纸除尘工艺流程图

1—喂料口 2—打灰机 3—清灰机 4—集尘室 5—旋风除尘器 6—脉冲布袋除尘器 7—引风机

已知:喂料吸风口距集尘室 10m (L_1),打灰机吸风口距集尘室 10m (L_2),清灰机吸风口距集尘室 7.25m (L_3),其它条件见后,试校正三条管道的直径并选择旋风除尘器、袋式除尘器以及风机的型号。

解:三条管道的直径的平衡校正要根据各自的压损来平衡;旋风除尘器的选择可根据通风量进行;袋式除尘器的选择可根据过滤面积来选择;风机的选择则要根据风量和风压两项进行,而风机的风压要涉及到前面的所有设备,所以,各部计算均需计算压力损失。

1. 三条管道通风量的确定及平衡校正

① 喂料口吸风量及吸风管阻力计算

根据敞开式吸尘罩特点,选取喂料口吸风速度为 1m/s ,吸风口尺寸为 $950 \times 950\text{mm}$,管内空气的容重为 1.2kg/m^3 ,管道内除尘选用空气流速为 18m/s ,则计算如下。

a. 吸风量的计算

$$Q_1 = 3600 F_1 V_1 = 3600 \times 0.95 \times 0.95 \times 1 = 3249 (\text{m}^3/\text{h})$$

b. 直管阻力计算

$$d_1 = \sqrt{\frac{Q_1}{0.785 \times 3600 u}} = \sqrt{\frac{3249}{0.785 \times 3600 \times 18}} = 0.25 (\text{m}) = 250 (\text{mm})$$

由 $d_1 = 250\text{mm}$, $u = 18\text{m/s}$,查表 2-5-10 得水力坡度 $i_1 = 1.45\text{mmH}_2\text{O}/\text{m}$,所以,

$$\text{直管阻力 } H_{\text{直}1} = i_1 L_1 = 1.45 \times 10 = 14.5 (\text{mmH}_2\text{O}) = 142.2 (\text{Pa})$$

c. 局部阻力计算

已知吸风罩角度 $\alpha = 60^\circ$,查表 2-5-20 得 $\xi = 0.12$;管路中采用一个弯头,五节弯管,角度 $\alpha = 90^\circ$, $R = 2d$,查表 2-5-20 得 $\xi = 0.19$,因此, $\Sigma \xi = 0.12 + 0.19 = 0.31$,则局部压损为:

$$H_{\text{局}1} = \Sigma \xi \frac{u^2 r}{2g} = 0.31 \times \frac{18^2 \times 1.2}{2 \times 9.8} = 6.15 (\text{mmH}_2\text{O}) = 60.31 (\text{Pa})$$

d. 喂料口吸风管总阻力计算

$$H_1 = H_{\text{直}1} + H_{\text{局}1} = 14.5 + 6.15 = 20.65 (\text{mmH}_2\text{O}) = 202.51 (\text{Pa})$$

② 打灰机风量确定及吸风管路阻力计算

打灰机选用密封式气罩,由于打灰机是粉尘最集中的地方,所以密闭气罩面积选用 5.5m^2 ,漏风面积为 0.5m^2 ,漏风处吸风速度选 $V=4\text{m/s}$ 。

a. 风量的确定

$$Q_2 = 3600F_2V_2 = 3600 \times 0.5 \times 4 = 7200(\text{m}^3/\text{h})$$

b. 直管阻力计算

$$d_2 = \sqrt{\frac{Q_2}{0.785 \times 3600u}} = \sqrt{\frac{7200}{0.785 \times 3600 \times 18}} = 0.376(\text{m})$$

选用 $d_2 = 370\text{mm}$ 。

$$u_2 = \frac{Q_2}{0.785 \times 3600d_2^2} = \frac{7200}{0.785 \times 3600 \times 0.37^2} = 18.61(\text{m/s})$$

查表 2-5-10 得水力坡度 $i_2 = 0.9(\text{mmH}_2\text{O}/\text{m})$

$$H_{直2} = L_2 i_2 = 10 \times 0.9 = 9(\text{mmH}_2\text{O}) = 88.26(\text{Pa})$$

c. 局部阻力计算

吸风罩角度选用 $\alpha = 60^\circ$, 则 $\xi = 0.12$; 90° 弯头一个, 五节弯管, $R = 2d$, 则 $\xi = 0.19$; 吸气三通处阻力系数选用 $\xi = 0.3$, 则

$$\Sigma \xi = 0.12 + 0.19 + 0.3 = 0.61$$

$$H_{局2} = \Sigma \xi \frac{u_2^2 \gamma}{2g} = 0.61 \times \frac{18.61^2 \times 1.2}{2 \times 9.8} = 12.92(\text{mmH}_2\text{O}) = 126.71(\text{Pa})$$

d. 总阻力计算

$$H_2 = H_{直2} + H_{局2} = 9 + 12.92 + 21.92(\text{mmH}_2\text{O}) = 214.97(\text{Pa})$$

③ 清灰机吸风量确定及管路阻力计算

清灰机为一圆台形筛鼓转体, 安装在半封闭室内。废纸出口处为开口输送机, 开口面积为 1.5m^2 , 考虑到经打灰机及清灰机处理后的粉尘含量已大为降低, 并且开口面积较大, 所以选用吸风速度 $V = 0.5\text{m/s}$ 。

a. 吸风量的计算

$$Q_3 = 3600F_3V_3 = 3600 \times 0.5 \times 1.5 = 2700(\text{m}^3/\text{h})$$

b. 直管阻力计算

$$d_3 = \sqrt{\frac{Q_3}{0.785 \times 3600u}} = \sqrt{\frac{2700}{0.785 \times 3600 \times 18}} = 0.23(\text{m})$$

选用 $d_3 = 230\text{mm}$, 据 $u = 18\text{m/s}$, 查表 2-5-10 得, $i_3 = 1.6\text{mmH}_2\text{O}/\text{m}$

$$H_{直3} = L_3 i_3 = 7.25 \times 1.6 = 11.6(\text{mmH}_2\text{O}) = 113.76(\text{Pa})$$

c. 局部阻力计算

吸风罩角度 $\alpha = 60^\circ$, $\xi = 0.12$; 五节弯管, $R = 2d$, $\xi = 0.19$, 则,

$$H_{局3} = \Sigma \xi \frac{u^2 \gamma}{2g} = (0.12 + 0.9) \times \frac{18^2 \times 1.2}{2 \times 9.8} = 6.15(\text{mmH}_2\text{O}) = 60.31(\text{Pa})$$

d. 总阻力计算

$$H_3 = H_{直3} + H_{局3} = 11.6 + 6.15 = 17.75(\text{mmH}_2\text{O}) = 174.07(\text{Pa})$$

④ 三条管道的平衡校正

从以上三条支管阻力计算结果看出, 喂料口与打尘机管路阻力相差很小, 为了使清灰机管路阻力与另两条管路阻力平衡, 必须增大阻力。根据压损与管径的关系:

$$H \propto \frac{1}{d^n}$$

则

$$\frac{d'}{d} = \left(\frac{H}{H'}\right)^{\frac{1}{n}} \quad d' = d \left(\frac{H}{H'}\right)^{\frac{1}{n}}$$

对于 $4 < n < 5$, 取 $\frac{1}{n} = 0.225$, 则清灰机管路调整后的管径为:

$$d'_3 = d_3 \left(\frac{H_3}{H'_3}\right) = 230 \times \left(\frac{17.5}{20.5}\right)^{0.225} = 222.6(\text{mm})$$

取 $d'_3 = 220\text{mm}$ 。

调整后清灰机吸风管路压损计算:

$$u'_3 = \frac{Q_3}{3600 \times 0.785 d'^2_3} = \frac{2700}{3600 \times 0.785 \times 0.22^2} = 19.74(\text{m/s})$$

根据 $d'_3 = 220\text{mm}$, $u'_3 = 19.74\text{m/s}$, 查表 2-5-10 得 $i'_3 = 2.0\text{mmH}_2\text{O/m}$, 则,

$$H'_{直3} = L_3 i'_3 = 7.25 \times 2.0 = 14.5(\text{mmH}_2\text{O}) = 142.20(\text{Pa})$$

$$H'_{弯3} = \Sigma \xi \frac{u'^2 \gamma}{2g} = (0.12 + 0.19) \frac{19.74^2 \times 1.2}{2 \times 9.8} = 7.39(\text{mmH}_2\text{O}) = 72.47(\text{Pa})$$

$$H'_3 = H'_{直3} + H'_{弯3} = 14.5 + 7.39 + 21.98(\text{mmH}_2\text{O}) = 215.56(\text{Pa})$$

所以, 清灰机吸风管路调整后, 三条管路压损差已在允许范围之内 ($< 10\%$)。

2. 旋风除尘器选型及阻力计算

① 选型计算

总风量 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$= 3249 + 7200 + 2700 = 13149(\text{m}^3/\text{h})$$

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785 \times 3600 u}} = \sqrt{\frac{13149}{0.785 \times 3600 \times 18}} = 0.508(\text{m})$$

选择 $d = 510(\text{mm})$, 则

$$u = \frac{Q}{0.785 \times 3600 d^2} = \frac{13149}{0.785 \times 3600 \times 0.51^2} = 17.89(\text{m/s})$$

根据风量, 选择旋风除尘器型号 CLT/A-Y 型。当风速为 18m/s 时, 处理风量为 $7130\text{m}^3/\text{h}$, 因此, 选择 2 台并联使用, 已能达到要求。

② 阻力计算

a. 集尘室阻力计算

进集尘室的阻力。以三路支管中风速最高一路作计算依据, $\xi = 0.4$ 。

$$H_1 = \xi \frac{u^2 \gamma}{2g} = 0.4 \times \frac{18.61^2 \times 1.2}{2 \times 9.8} = 8.48(\text{mmH}_2\text{O}) = 83.16(\text{Pa})$$

出集尘室阻力。出口处采用渐缩管, $\alpha = 60^\circ$ $\xi = 0.44$ 。

$$H'_2 = \xi \frac{u^2 \gamma}{2g} = 0.44 \times \frac{17.98^2 \times 1.2}{2 \times 9.8} = 8.62(\text{mmH}_2\text{O}) = 84.54(\text{Pa})$$

b. 集尘室到旋风分离器管路阻力计算

集尘室到旋风除尘器的管子长度为 3 米, 据 $d = 510\text{mm}$, $u = 17.89\text{m/s}$, 查表 2-5-10 得 $i = 0.72\text{mmH}_2\text{O/m}$ 。

$$H'_3 = Li = 3 \times 0.72 = 2.16(\text{mmH}_2\text{O}) = 21.18(\text{Pa})$$

c. 旋风除尘器阻力计算

旋风除尘器型号为 CLT/A—Y 型, $\xi = 5.0$, 进口尺寸为 $400 \times 200\text{mm}$, 则,

$$u = \frac{Q}{2 \times 3600F} = \frac{13149}{2 \times 3600 \times 0.4 \times 0.2} = 22.83(\text{m/s})$$

$$H_4 = \Sigma \xi \frac{u^2 \gamma}{2g} = 5 \times \frac{22.83^2 \times 1.2}{2 \times 9.8} = 159.55(\text{mmH}_2\text{O}) = 1564.71(\text{Pa})$$

d. 总阻力的计算

$$\begin{aligned} H_4 &= H_1 + H_2 + H_3 + H_4 \\ &= 8.48 + 8.62 + 2.16 + 159.55 \\ &= 178.81(\text{mmH}_2\text{O}) = 1753.59(\text{Pa}) \end{aligned}$$

3. 袋式除尘器的选型及阻力计算

① 确定过滤风速

根据规定, 使用脉冲喷吹过滤风速, 一般在 $3 \sim 4\text{m/min}$ 范围内, 考虑到水泥粉尘相对密度大, 设计时选取过滤风速 $V = 3.2\text{m/min}$ 。

② 过滤面积的计算

$$F = \frac{Q}{60V} = \frac{13149}{60 \times 3.2} = 68.48(\text{m}^2)$$

③ 选型

选择 OMC——96 型, 滤袋个数为 96 个, 过滤面积为 72m^2 , 已能满足要求。

④ 阻力计算

袋式除尘器的压力损失 $H_5 = 110(\text{mmH}_2\text{O}) = 1078.77(\text{Pa})$ 。

4. 风机选型

① 除尘系统最不利阻力计算

$$\begin{aligned} H_{\Sigma} &= H_2 + H_4 + H_5 = 21.92 + 178.81 + 110 \\ &= 310.73(\text{mmH}_2\text{O}) = 3047.32(\text{Pa}) \end{aligned}$$

② 风机风量确定

根据风量计算值附加 10%, 则确定风机风量为:

$$Q_{\Sigma} = Q \times 110\% = 13149 \times 110\% = 14463.9(\text{m}^3/\text{h})$$

③ 风机风压的确定

根据风压计算值附加 15%, 则确定风机风压为:

$$\begin{aligned} H'_{\Sigma} &= H_{\Sigma} \times 115\% \\ &= 310.73 \times 115\% = 357.34(\text{mmH}_2\text{O}) \\ &= 3504.43(\text{Pa}) \end{aligned}$$

故选择风机型号为 C₄₋₇₃₋₁₁。该机的性能为: $Q = 10600 \sim 19350\text{m}^3/\text{h}$; $H = 374 \sim 222\text{mmH}_2\text{O}$, 电机功率为 22kW 。

(三) 风送草片鼓风机所需动力的计算

【说明】 风送草片是草类原料备料输送的方法之一。通常管道内空气流速为 $22 \sim 25\text{m/s}$, 每立方米空气带有草片以不超过 $200 \sim 250\text{g}$ 为度, 风压有中压鼓风机 ($200 \sim 300\text{mmH}_2\text{O}$ 以下) 和高压鼓风机 ($1000\text{mmH}_2\text{O}$ 以上)。风量应根据单位时间内送草数量的要求决定。

【公式】

$$N = \frac{Qh}{60 \times 75 \times 1.36\eta_1\eta_2} = \frac{Qh}{6120\eta_1\eta_2} \quad (1-1-17)$$

式中 N ——鼓风机所需功率(kW)

Q ——风量(m^3/min)

h ——风压(mmH_2O)

η_1 ——容量效率,一般取 0.75

η_2 ——机械效率,一般取 0.4~0.5

(四)二级干法除尘系统的计算

【说明】该除尘系统由吸风罩、风管、除尘器和风机组成。风机是整个系统的动力设备,在产生粉尘较大的切草机、草片除尘器下部和进出口各装一个伞形吸尘罩,借助风机产生的负压,在罩口形成一定的吸气速度,将粉尘通过管道吸走而进入两台扩散式旋风除尘器,作第一级净化,以去掉草屑、料末和 $10\mu\text{m}$ 以上的粉尘,使含尘浓度小于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。然后进入袋式除尘器进行二级净化。以除去 $10\mu\text{m}$ 以下的粉尘,使空气达到排放标准而进入大气。

1. 吸尘罩风量的计算

【说明】吸尘罩口必须保持一定的风速,以保证把产生的粉尘迅速抽走。各吸风罩的风量可按下式计算。

【公式】 $Q = 3600FV$

式中 Q ——风量(m^3/h)

F ——罩口面积(m^2)

V ——罩口风速(m/s),一般采用 $1.8\sim 2\text{m}/\text{s}$

2. 袋式除尘器的计算

【说明】袋式除尘器主要用于清除气体中细小干燥的粉尘。选型前应根据粉尘的性质确定滤料,计算过滤面积和滤袋系数。

① 过滤面积计算

【公式】

$$A = \frac{Q}{3600V} \quad (1-1-18)$$

式中 A ——过滤面积(m^2)

Q ——处理风量(m^3/h)

V ——过滤风速(m/s),脉冲喷吹取 $3\sim 4\text{m}/\text{s}$

② 滤袋系数的计算

【公式】

$$n = \frac{A}{f} = \frac{A}{\pi dL} \quad (1-1-19)$$

式中 n ——滤袋系数(条)

f ——总面积(m^2)

d ——滤袋直径(m)

L ——滤袋长度(m)

A —— 过滤面积(m²)

第三节 木材原料的备料计算

一. 链式拉木机的计算

(一) 拉木机的生产能力计算

1. 纵向拉木机的生产能力计算

【公式】

$$G = \frac{60VU}{L} \varphi_1 \varphi_2 \quad (1-1-20)$$

式中 G —— 生产能力(m³/h), 一般为 30~45m³/h
 V —— 每根原木平均体积(m³)
 U —— 链条速度(m/min), 一般 30~60m/min
 L —— 原木平均长度(m)
 φ_1 —— 装载充满系数, 取 0.7~0.85
 φ_2 —— 时间利用系数, 取 0.75~0.90

2. 横向拉木机的生产能力计算

【公式】

$$G = \frac{3600VU}{L_1} \varphi_1 \varphi_2 \quad (1-1-21)$$

式中 G —— 生产能力(m³/h)
 U —— 链条速度(m/s), 固定式取 0.2~0.4, 移动式取 0.3~0.5
 L_1 —— 钩的间距(m)
 φ_1 —— 装载充满系数, 取 0.8~0.9
 φ_2 —— 时间利用系数, 固定式为 0.8~0.9, 移动式为 0.7~0.8

(二) 拉木机所需电机功率的计算

【说明】拉木机的驱动装置所需的功率应由连续运转和起动两种情况来确定。通常起动时的功率与连续运转时的功率之比不应小于 1.6~2.0, 所以, 只要求出连续运转时的功率, 就可以确定拉木机电机的功率。

【公式】

$$N = \frac{KFV}{1000\eta} \quad (1-1-22)$$

式中 N —— 拉木机电机功率(kW)
 K —— 起动系数, 可取 1.5~2.0
 F —— 拉木机连续运转时, 驱动链轮上的牵引力(N)
 V —— 链条速度(m/s)
 η —— 传动效率, 一般为 0.65~0.75

二、圆筒剥皮机的计算

(一) 生产能力计算

【说明】剥皮机的生产能力与原木的湿度和浸泡时间等有很大关系,要想维持原先的生产能力,原木应先用污热水浸泡,保持一定温度和湿度后再送入剥皮机。

【公式】

$$G = K \frac{60\pi D L n}{1000} \quad (1-1-23)$$

式中 G —— 生产能力(实积 m^3/h)

D —— 剥皮机筒体的直径(m)

L —— 剥皮机筒体的长度(m)

n —— 剥皮机筒体的转速(r/min)

K —— 剥皮机的生产能力系数,取 0.14

(二)电机功率的计算

【公式】

$$N = K \frac{\pi D L (60n)}{1000} \quad (1-1-24)$$

式中 N —— 功率(kW)

K —— 剥皮机动力消耗系数,取 1.25

D —— 剥皮机筒体的直径(m)

L —— 剥皮机筒体的长度(m)

n —— 剥皮机筒体的转速(r/min)

三、圆盘削片机的计算

(一)生产能力计算

1. 最大生产能力计算

【公式】

$$G_{\text{最大}} = \frac{\pi}{4} d^2 L n Z \quad (1-1-25)$$

式中 $G_{\text{最大}}$ —— 削片机最大生产能力(实积 m^3/min)

d —— 切削原木的最大直径(m)

L —— 木片的长度(m)

n —— 刀盘转速(r/min)

Z —— 飞刀数目

2. 实际生产能力计算

【公式】

$$G = K \frac{\pi}{4} d^2 L n Z \quad (1-1-26)$$

$$\text{或 } G = K A L n Z \quad (1-1-27)$$

式中 K —— 削片机生产能力有效系数,可取 0.14~0.2

A —— 喂料槽截面积(m^2)

其它符号含义及单位同式 1-1-25

(二)所需台数的确定计算

【公式】

$$n = \frac{Q}{GK} (\text{台}) \quad (1-1-28)$$

其中 Q —— 处理木片量(t/d)

G —— 削片机生产能力(t/d)

K —— 设备利用系数,取 0.8

(三)所需电机功率的计算

【说明】削片机所需电机功率的计算方法很多,并且需要和一些实验相结合,通常是通过计算切削阻力求得所需功率。

1. 削片机连续切削的最大切削功

【说明】把可能送入本机台的直径最大,长度最长的原木作为依据所计算的切削功为最大切削功。

【公式】

$$A_0 = RSK \quad (1-1-29)$$

式中 A_0 —— 最大切削功(J)

R —— 单位刀刃长度上的切削阻力(N/m)

$$R = 47270\omega^{0.55}H^{0.41} \quad (\text{经验公式}) \quad (1-1-30)$$

ω —— 喂料槽与刀盘的夹角(弧度)

H —— 木片两个切面之间的距离,相当于削片机刀盘上的刀距(mm)

S —— 原木被切削截面(m²)

K —— 连续切削一根或几根原木的次数,即原木的总长除以木片的长度

2. 切削一根或几根原木所需的时间

【公式】

$$t = \frac{60L}{Znl} \quad (1-1-31)$$

式中 t —— 时间(s)

L —— 原木的总长度(mm)

l —— 木片的长度(mm)

Z —— 飞刀的片数

n —— 刀盘的转速(r/min)

3. 切片机的瞬时最大功率

【公式】

$$N_1 = \frac{A_0}{1000t} \quad (\text{kW}) \quad (1-1-32)$$

式中符号含义及单位均同前

4. 转动系统放出的能量计算

【说明】指削片机在切削一根或几根原木的时间内,即在消耗最大切削功(A_0)期间,转动系统放出的能量。

【公式】

$$A = \frac{J}{2}(\omega_1^2 - \omega_2^2) \quad (1-1-33)$$

式中 A —— 转动系统放出能量(J)

J —— 整个转动系统的转动惯量(J·s²)

ω_1 —— 削片机在切削一根或几根原木前的角速度(1/s)

ω_2 —— 切片机在切完一根或几根原木后允许的最小角速度(1/s)

5. 切片机在做最大切削功时, 所需输入的功率

【公式】

$$N_2 = \frac{A_0 - A}{1000t} (\text{kW}) \quad (1-1-34)$$

式中符号含义及单位均同前

6. 削片机所需电机的实际功率

【公式】

$$N = \frac{N_2 + N_0 + N_1}{\eta} \quad (1-1-35)$$

式中 N —— 实际功率(kW)

N_0 —— 削片机的空载功率(kW)

N_1 —— 当采用风送上出料时风叶所消耗的功率(kW)

N_2 —— 同式 1-1-34

η —— 机械传动效率(%)

(四) 木片长度的计算

【公式】

$$L = \frac{B}{\sin \varepsilon \cos \theta} \quad (1-1-36)$$

式中 L —— 木片长度(mm)

B —— 刀距(mm), 一般为 11~14

ε —— 投木角(度)

θ —— 投木偏角(度)

(五) 木片长度与纤维长度的相互换算

【说明】在备料过程中, 由于木片两端被切割, 使纤维平均长度相应减短。经实验可知, 较短的木片(如小于 25mm), 其所制纸浆的纤维平均长度明显减短; 而较长的木片(如大于 30mm), 其纤维平均长度增长也不明显, 因此, 必须从生产和工艺等方面考虑, 确定合理的木片长度。因纸浆纤维长度与多种因素有关, 因而本算法为一近似值, 但与测定值基本是吻合的。

【公式】

$$m = \frac{ML}{M + L} \quad (1-1-37)$$

$$\text{或 } L = \frac{Mm}{M - m}$$

式中 m —— 蒸煮后纸浆的纤维长度(mm)

M —— 蒸煮前原料的纤维长度(mm), 可取各种木材原料的纤维长度的平均值, 常见木材纤维的平均长度见表 1-1-2

L —— 木片长度 (mm)

表 1-1-2 常见木材纤维的平均长度

原料	云杉	马尾松	红松	落叶松	臭冷杉	山杨	白皮桦	红皮桦	桉木	檀木
平均长度 (mm)	3.06	3.61	3.62	3.41	3.29	0.86	1.21	1.27	0.68	1.14

【例】某厂用杉木制浆,原料的纤维平均长度为 3.4mm,计算:(1)当木片长度分别为 15mm 和 40mm 时,纸浆的平均纤维长度;(2)若单纯从原料的角度考虑,欲获得纸浆的最长纤维长度,木片的长度应为多少?

解:①根据 $m = \frac{ML}{M+L}$

当木片长度为 15mm 时,纸浆的纤维长度

$$m_1 = \frac{15 \times 3.4}{15 + 3.4} = 2.77 \text{ (mm)}$$

当木片长度为 40mm 时,纸浆的纤维长度

$$m_2 = \frac{40 \times 3.4}{40 + 3.4} = 3.13 \text{ (mm)}$$

经实验知,这两种情况下的实测值分别为 2.801 和 3.055,为此,结果比较接近。

②从式 $L = \frac{Mm}{M-m}$ 可看出, $m \leq M$, 即 $m \leq 3.4\text{mm}$, 现假设纸浆纤维平均长度 $m = 3.3\text{mm}$ 为最大,则木片的长度为:

$$L = \frac{3.4 \times 3.3}{3.4 - 3.3} = 112 \text{ (mm)}$$

实验也证明,当木片长度大于 120mm 时,纸浆的纤维长度几乎不受影响。

其计算值与实测值结果对比见表 1-1-3。

表 1-1-3 木片(杉木)长度与纸浆纤维长度对比 (mm)

木片长度	实测纤维长度				计算纤维长度
	I	II	III	平均	
5					2.02
8	2.473	2.483		2.478	2.38
15	2.872	2.753	2.779	2.801	2.77
25	2.877	2.961	2.969	2.936	2.99
40	2.957	3.176	3.041	3.055	3.13
50	3.169	3.285		3.227	3.18
120	3.196	3.269		3.246	3.31
2000					3.39

(六)木片厚度的计算

【公式】

$$T = KH \quad (1-1-38)$$

式中 T —— 木片厚度 (mm)

K —— 经验常数,与投木角和刀刃角有关,生产上一般为 0.2~0.3 左右

H —— 刀高(mm), 一般为 18~20

(七) 木片斜度的计算

【公式】

$$\sin \omega = \sin \epsilon \cos \theta$$

(1-1-39)

式中 ω —— 木片斜角(度)

其它符合含义及单位见式1-1-36

(八) 投木槽与刀盘间的夹角关系计算

【说明】参见图1-1-4。

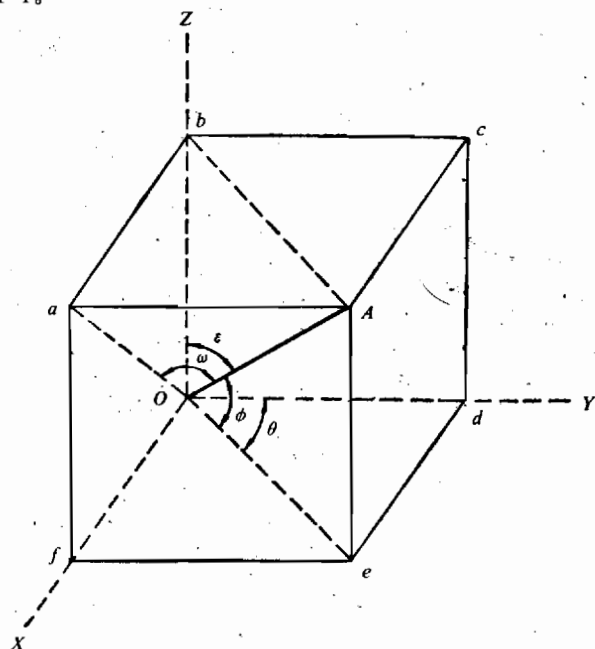


图1-1-4 投木槽与刀盘间的一些夹角关系

XZ 平面—刀盘面 YZ 平面—与刀盘垂直的面 OA—投木槽中心线 ϵ —投木角(即 OA 与 OZ 的夹角) ϕ —虎口角(即投木角的余角) θ —投木偏角(即投木槽 OA 在 XY 平面上的垂直面与刀盘垂直面 YZ 平面间的夹角) ω —木片斜角(即投木槽与刀盘面 XZ 平面间的夹角)

【公式】

$$\sin \omega = \frac{aA}{OA}$$

$$\sin \epsilon = \frac{bA}{OA} = \frac{Oe}{OA} = \cos \phi$$

$$\cos \theta = \frac{Od}{Oe} = \frac{bc}{bA} = \frac{aA}{bA}$$

$$\sin \omega = \sin \epsilon \cdot \cos \theta = \cos \phi \cos \theta \quad (1-1-40)$$

(九) 相邻两刀间的距离计算

【说明】为了达到两把刀同时切入原木, 就要求相邻两刀间距离必须小于原木可能存在的最小直径。

【公式】

$$\frac{2\pi r}{Z} \leq \frac{D}{\sin \epsilon} \quad (1-1-41)$$

式中 r —— 切削半径(mm)
 Z —— 削片刀数
 D —— 原木直径(mm)
 ε —— 投木角

(十) 刀距的计算

【说明】削片刀片突出刀盘面的距离称为刀距。刀距大小,对于木片长度起着决定性作用。

【公式】

$$h = L \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \quad (1-1-42)$$

式中 h —— 刀距(mm)
 L —— 木片长度(mm)
 α_1 —— 虎口流槽和刀盘的平面所保持的斜度,此斜面的侧面投影与水平轴线所交成的角度,通常在 $45^\circ \sim 52^\circ$,以 52° 为最宜
 α_2 —— 上述斜面的水平投影与主轴中心线所交成的角度,通常在 $15^\circ \sim 38^\circ$,以 $20^\circ 31'$ 为最宜

【注意】考虑到在切削时,原木受刀片和底刀之间的剪力作用,有往上翘起的趋势,亦即加大了 α_1 角,故一般刀距均较计算结果少2毫米。

(十一) 刀高的计算

【说明】刀片刃边与垫板间的距离称为刀高,刀高的大小直接影响木片厚度。

【公式】

$$H = \frac{T}{K} \quad (1-1-43)$$

式中符号含义及单位均见式1-1-38

(十二) 喂料虎口与刀盘平面的安装距离计算

【公式】

$$s = h + c + P \quad (1-1-44)$$

式中 s —— 虎口与刀盘平面安装距离(mm)
 h —— 刀距(mm)
 C —— 刀片与底刀或旁刀刃口间的间隙,一般取 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$
 P —— 底刀或旁刀突出高度(mm),一般取10

四、锅顶料仓的计算

(一) 料仓装料量的计算

【公式】

$$G_1 = V_1 \gamma_1 = \varphi \gamma_1 V \quad (1-1-45)$$

$$G_2 = V_1 \gamma_2 = \varphi \gamma_2 V \quad (1-1-46)$$

式中 G_1 —— 料仓绝干装料量(t)
 G_2 —— 料仓风干装料量(t)
 V_1 —— 料仓有效容积(m^3)

$$V_1 = \varphi V$$

φ ——料仓充满系数,一般为0.6~0.8,其大小需根据料片堆积角和料仓结构来定,一般堆积角大时取小值,反之取大值;静止仓底取小值;活动仓底取大值;小料仓取小值,大料仓取大值

V ——料仓计算容积(m^3)

γ_2 ——料片风干容重(t/m^3)

γ_1 ——料片绝干容重(t/m^3),其值的大小主要视原料水分,密度和切片规格而定,常见数值见表1-1-4。

表1-1-4 常见纤维原料的绝干容重

原料品种	绝干容重($\text{kg}(\text{绝干})/\text{m}^3$)	密度(g/cm^3)
木片	130~170	0.35~0.48
苇片	100~150	
蔗渣	64~75	
竹片	209	0.7
稻草片	54~60	
麦草片	63~70	

(二)木片料仓锥底的选取计算

【说明】锅顶料仓的锥底有四角锥形和圆锥形两种。四角锥形可以利用四壁作梁,在结构上比较合理,而且建筑体积的利用比较经济,在外形体积相同的情况下容积较大。这样,可以降低楼层高度。但缺点是下料比较困难。因此,在设计时必须掌握锥底棱边(AE)与水平面(ABCD)的空间夹角 α 与休止角 β 保持下述式中关系,这样,就可以保证料片沿着仓壁下滑,见图1-1-5。

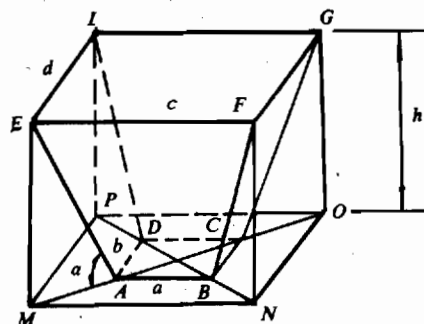


图1-1-5 料仓四角锥底空间角度的关系

1. α 与 β 的关系

【公式】

$$\alpha \geq \beta + 3^\circ \quad (1-1-47)$$

式中 α ——空间夹角(度)

β ——休止角(度),即料片不会进行自然滑动时最大的 α 角

2. α 角的选取计算

①出料口为长方形时

【公式】

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{2h}{\sqrt{(c-a)^2 + (d-b)^2}} \quad (1-1-48)$$

式中 h ——上下口高(mm)

c, d —— 上口尺寸(mm)

a, b —— 下口尺寸(mm)

②出料口为正方形时

【公式】

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{2}h}{c-a} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{2}h}{a-b} \quad (1-1-49)$$

③休止角的常取值

【说明】一般取木片堆积角(休止角) $\beta = 45^\circ$

故 $\alpha \geq \beta + 3^\circ = 48^\circ$

$$\text{即 } \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{2}h}{c-a} \geq 48^\circ \quad (1-1-50)$$

【注意】最后确定 α 角时,尚需考虑料仓结构与进出口设备的联接关系以及料片对仓壁斜面之间的摩擦力等因素。

3. 底锥侧面 ABEF 与平面 ABCD 的夹角 β_1 的计算

①出料口为长方形时

【公式】

$$\beta_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2h}{(d-b)} \quad (1-1-51)$$

式中符号含义及单位均同式1-1-48

②出料口为正方形时

【公式】

$$\beta_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2h}{(c-a)} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2h}{(d-b)} \quad (1-1-52)$$

式中符号含义及单位均同式1-1-48

4. 底锥侧面 BCFG 与平面 ABCD 的夹角 β_2 的计算

①出料口为长方形时

【公式】

$$\beta_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2h}{c-a} \quad (1-1-53)$$

②出料口为正方形时

【公式】

$$\beta_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2h}{c-a} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2h}{(d-b)} \quad (1-1-54)$$

以上两式中符号含义及单位均同式1-1-48

5. α 与 β_1, β_2 的关系

【说明】当出料口为正方形时, α 与 β_1 及 β_2 之间保持以下关系, 这样, α 及 β 角均符合要求。

【公式】

$$\beta_1 = \beta_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2h}{c-a} > \alpha > \beta + 3^\circ > 48^\circ \quad (1-1-55)$$

【例】设底锥下口尺寸 $a = b = 760\text{mm}$, 上口尺寸 $c = d = 3000\text{mm}$ 上下口高 $h =$

1800mm, 试论证料仓的设计是否符合要求。

解:

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{2}h}{c-a} = \operatorname{tg}^{-1} 1.136 = 48^{\circ}39'$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2h}{c-a} = \operatorname{tg}^{-1} 1.6 = 58^{\circ}6'$$

故 $\beta_1 = \beta_2 > \alpha > 48^{\circ}$, 满足设计要求。

第二章 碱法蒸煮工艺与设备的计算

第一节 碱法蒸煮的理论计算

一、硫酸盐法蒸煮脱木素反应动力学计算

(一) 反应级数的确定

【说明】方法是首先计算出在各种温度下的脱木素速率是否等速,如果相等,那就是零级反应。一般情况下,脱木素反应速率是不相等的,因为零级反应意味着反应只是在反应物表面进行,这不符合实际。因此,脱木素反应主要是判断属一级反应还是二级反应。级数高于二级的反应是很少的。要判断是一级反应还是二级反应,一般用积分法。这种方法的依据是积分动力学方程,不同级数反应有不同形式的积分式,反过来,如果从实验获得的木素-时间数据符合某种形式的积分式,就可借此推断反应级数。有两种推断方法。一是计算法,将每一对木素-时间数据代入积分式求出反应速率常数 K ,看由哪一种积分式计算得来的一组 K 值最接近常数;二是通过作图将各木素-时间($L-t$)数据分别按 $\ln L-t$ 和 $\frac{1}{L}-t$ 作图,看哪一个图能显示出直线关系。 K 值愈接近常数的或图形显示直线关系的,均认为是属于这一级的反应级数。但是,由于各实验数据可能存在偏差,或者由于实验数据不充分,有时会遇到按一级反应或二级反应作的图都可能接近直线,所以,只根据一个图作的结论并不一定可靠。因此,最好是两种方法同时用。一般情况下,草类原料(包括竹子)碱法蒸煮脱木素反应的动力学属二级反应。

(二) 蒸煮脱木素的动力学方程式

1. 一级反应式

【公式】

$$\frac{dL}{dt} = KL \quad (1-2-1)$$

式中 $-\frac{dL}{dt}$ ——脱木素速度

L ——木素含量(%)

t ——蒸煮时间(h)

K ——反应速率常数,计算见下

2. 二级反应式

【公式】

$$-\frac{dL}{dt} = KCL \quad (1-2-2)$$

$$C = AL + B \quad (1-2-3)$$

$$K = K e^{\frac{1}{RT}} \quad (1-2-4)$$

第二章 碱法蒸煮工艺与设备的计算

第一节 碱法蒸煮的理论计算

一、硫酸盐法蒸煮脱木素反应动力学计算

(一) 反应级数的确定

【说明】方法是首先计算出在各种温度下的脱木素速率是否等速,如果相等,那就是零级反应。一般情况下,脱木素反应速率是不相等的,因为零级反应意味着反应只是在反应物表面进行,这不符合实际。因此,脱木素反应主要是判断属一级反应还是二级反应。级数高于二级的反应是很少的。要判断是一级反应还是二级反应,一般用积分法。这种方法的依据是积分动力学方程,不同级数反应有不同形式的积分式,反过来,如果从实验获得的木素-时间数据符合某种形式的积分式,就可借此推断反应级数。有两种推断方法。一是计算法,将每一对木素-时间数据代入积分式求出反应速率常数 K ,看由哪一种积分式计算得来的一组 K 值最接近常数;二是通过作图将各木素-时间 ($L-t$) 数据分别按 $\ln L-t$ 和 $\frac{1}{L}-t$ 作图,看哪一个图能显示出直线关系。 K 值愈接近常数的或图形显示直线关系的,均认为是属于这一级的反应级数。但是,由于各实验数据可能存在偏差,或者由于实验数据不充分,有时会遇到按一级反应或二级反应作的图都可能接近直线,所以,只根据一个图作的结论并不一定可靠。因此,最好是两种方法同时用。一般情况下,草类原料(包括竹子)碱法蒸煮脱木素反应的动力学属二级反应。

(二) 蒸煮脱木素的动力学方程式

1. 一级反应式

【公式】

$$-\frac{dL}{dt} = KL \quad (1-2-1)$$

式中 $-\frac{dL}{dt}$ ——脱木素速度

L ——木素含量(%)

t ——蒸煮时间(h)

K ——反应速率常数,计算见下

2. 二级反应式

【公式】

$$-\frac{dL}{dt} = KCL \quad (1-2-2)$$

$$C = AL + B \quad (1-2-3)$$

$$K = K_0 e^{-\frac{E}{RT}} \quad (1-2-4)$$

式中 C —— 蒸煮液有效碱浓度(g/L)

A, B —— 常数

K_0 —— 频率因子,即参加反应分子的碰撞频率

E —— 反应活化能,即活化分子具有的最低能量与分子的平均能量之差,反应的活化能愈低,则在指定温度下活化分子越多(J/mol)

R —— 气体常数,即8.32(J/mol·K)

T —— 绝对温度(K)

$$K = 273 + ^\circ\text{C}$$

$^{\circ}\text{C}$ —— 摄氏温度

e —— 自然对数的底

二、脱木素反应速率常数和反应活化能的计算

(一)按二级反应计算反应速率常数和活化能

【说明】按二级反应的反应速率常数 K 值和反应活化能 E 值的计算可分三步进行(见实例)。

【公式】根据式1-2-2和式1-2-3得:

$$\frac{dL}{(AL + B)L} = -Kdt$$

积分得:

$$-\frac{1}{B} \ln\left(\frac{AL + B}{L}\right) = -Kt + \text{常数} \quad (1-2-5)$$

式中符号含义及单位均同前

【例】某单位对山竹(苦竹)进行的试验条件及数据如下。条件:用碱量20%(NaOH),硫化度25%,液比1:3.6,在不同温度下的保温时间见表1-2-1,试计算 K 值和 E 值。

解:根据表中120℃下的数据分三步计算如下。

1. 从 $C = AL + B$ 求出 A 和 B 值

应用最小二乘法计算。令 $C = y, L = x$, 将各数值列于表1-2-2。

平均值: $\bar{y} = 28.37$ $\bar{x} = 8.38$

均方差:

$$\delta y = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{8}} = 2.52652$$

$$\delta x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{8}} = 2.29680$$

$$\frac{\sum xy}{8} = 243.37625$$

$$\gamma = \frac{\frac{\sum xy}{8} - \bar{x}\bar{y}}{\delta x \delta y} = 0.9713$$

式中 8 —— 实验次数

γ —— 相关系数,即描述两个变量(C, L)线性关系的密切程度的量。若 $|\gamma| = 1$,表示所有的“点”都在回归直线上; $|\gamma| < 1$ (一般都小于1),愈小则表示所有的“点”偏离回归直线愈远。相关系数的正负表示回归直线的方向不同

表1-2-1 山竹硫酸盐法蒸煮不同温度下保温时间的分析结果

温度(°C)	100							
保温时间(min)	0	20	40	60	80	100	120	140
残碱(g/L)	36.96	35.03	32.53	31.70	31.53	30.78	30.49	30.57
总木素含量(%对原料)	16.28	13.11	11.98	11.31	11.05	10.56	10.14	9.60
温度(°C)	120							
保温时间(min)	0	20	40	60	80	100	120	140
残碱(g/L)	34.42	29.82	27.85	27.68	27.65	26.73	26.99	25.82
总木素(%对原料)	13.36	10.18	9.12	7.95	7.25	6.82	6.29	6.07
温度(°C)	140							
保温时间(min)	0	20	40	60	80	100	120	140
残碱(g/L)	29.57	26.83	24.28	23.82	24.07	23.48	23.20	22.68
总木素(%对原料)	10.14	6.22	4.37	3.44	3.03	2.64	2.42	2.20
温度(°C)	160							
保温时间(min)	0	20	40	60	80	100	120	140
残碱(g/L)	28.36	24.73	22.96	21.45	19.79	19.63	19.14	18.81
总木素(%对原料)	5.93	2.29	1.59	1.36	1.14	1.07	1.01	0.91

注:试验时,甘油浴先加热至试验温度,控制装罐后回升至试验温度的时间为10min。

表1-2-2 根据 $C = AL + B$ 的计算值

$C(y)$	$L(x)$	$CL(xy)$	$C(y)$	$L(x)$	$CL(xy)$
34.42	13.36	459.85	27.65	7.25	200.46
29.82	10.18	303.57	26.73	6.82	182.30
27.85	9.13	254.27	26.99	6.29	189.77
27.68	7.95	220.06	25.82	6.07	156.73

表1-2-3 根据 $-\frac{1}{B}\ln\left(\frac{AL+B}{L}\right) = Kt + \text{常数}$ 的计算值

L	$-\frac{1}{B}\ln\left(\frac{AL+B}{L}\right)(y)$	$t(x)$	xy
13.36	-0.04764	0	0
10.18	-0.05616	20	-1.1232
9.13	-0.05982	40	-2.3928
7.95	-0.06468	60	-3.8808
7.25	-0.06802	80	-5.4416
6.82	-0.07029	100	-7.029
6.29	-0.07836	120	-8.8032
6.07	-0.07472	140	-10.4608

将上列数值代入回归方程:

$$y - \bar{y} = \gamma \frac{\delta_y}{\delta_x} (x - \bar{x}) \quad (1-2-6)$$

得: $C = 1.06845L + 19.41642$

故: $A = 1.06845$ $B = 19.41642$

2. 从 $\frac{1}{B}\ln\left(\frac{AL+B}{L}\right) = -Kt + \text{常数}$ 求 K 值

应用最小二乘法计算,令:

$$-\frac{1}{B} \ln\left(\frac{AL+B}{L}\right) = y \quad t = x$$

将各数值列于表1-2-3。

计算得:

$$\bar{y} = -0.06434 \quad \bar{x} = 70$$

$$\frac{\sum xy}{8} = -4.89143$$

$$\delta y = 0.008689$$

$$\delta x = 45.825756$$

$$\gamma = -0.97487$$

$$K_{120^\circ\text{C}} = -\gamma \frac{\delta y}{\delta x} = 1.848 \times 10^{-4}$$

用同样的方法,可以求得:

$$K_{100^\circ\text{C}} = 0.974 \times 10^{-4}$$

$$K_{140^\circ\text{C}} = 4.066 \times 10^{-4}$$

$$K_{160^\circ\text{C}} = 4.938 \times 10^{-4}$$

3. 从 $K = K_0 e^{-\frac{E}{RT}}$ 求 E 值

对上式两边取对数得:

$$\ln K = \ln K_0 - \frac{E}{RT}$$

令 $\ln K = y, \frac{1}{T} = x$, 则上式可写成:

$$y = -\frac{E}{R}x + \ln K_0$$

应用最小二乘法,将各数值列于表1-2-4。

表1-2-4 根据 $y = -\frac{E}{R}x + \ln K_0$ 的计算值

K	$\ln K(y)$	$\frac{1}{T}(x)$
0.974×10^{-4}	-9.23668	2.6809×10^{-3}
1.848×10^{-4}	-8.59624	2.5445×10^{-3}
4.066×10^{-4}	-7.80768	2.4213×10^{-3}
4.938×10^{-4}	-7.61338	2.3094×10^{-3}

计算得:

$$\bar{y} = -8.31350, \quad \bar{x} = 2.4890 \times 10^{-3}$$

$$\delta_y = 0.64773, \quad \delta_x = 0.13852 \times 10^{-3}$$

$$\frac{\sum xy}{4} = -2.07807 \times 10^{-2} (4 \text{ 为实验次数})$$

$$y = -0.9855$$

代入回归方程:

$$y - \bar{y} = r \frac{\delta_y}{\delta_x} (x - \bar{x}) \text{ 得:}$$

$$y = -4608x + 3.1558$$

$$-\frac{E}{R} = -4608 \quad R = 8.32 [\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$$

$$E = 3.82 \times 10^4 (\text{J/mol})$$

(二)各种脱木素反应的活化能

【说明】不同的蒸煮方法和原料,脱木素反应的活化能的数值相差较大,国内外学者彼此的研究结果也不尽一致。表1-2-5为各学者研究的数据;表1-2-6为我国常用的部分数据,供参考。

表1-2-5 不同蒸煮方法和原料的活化能研究数据

蒸煮方法	研究者	材种	规格 (cm)	药液浓度 (g/L)	硫化度 (%)	温度 (°C)	反应 级数	活化能(J/mol)	
								木素	碳水化合物
烧碱法	Arrhenius		锯末	50~125		140~170	1	7.49×10^4	1.34×10^5
烧碱法	Larocque & Maass	云杉	木片	56~160		120~130	1	1.34×10^5	
烧碱法	Wilder & Daleski	松木	0.1×5×0.6	20~60		142~171	1	1.47×10^5	
烧碱法	Daleski	松木	0.15×5×1.2	90		165~195	1	1.46×10^5	9.46×10^4
硫酸盐法	Kulkarni & nolan	松木	0.09×0.7×6	40~120	25	125~190	1	1.01×10^5	
硫酸盐法	Wilder & Daleski	松木	0.1×5×1.2	20~60	100	142~171	1	1.18×10^5	
硫酸盐法	Daleski	松木	0.15×5×1.2	90	25	165~195	1	1.13×10^5	
硫酸盐法	Kleinert	云杉	—	38	30	110~187	1	1.35×10^5	9.21×10^4
硫酸盐法	Nepenin & Schulman	松木	0.24×3×3	40~100	25	170~200	2	1.47×10^5	1.47×10^5
硫酸盐法	Lngyel	云杉	0.4×2×3.5	62.5	30	150~180	2	1.18×10^5	
硫酸盐法	Lngyel	白杨	0.4×2×3.5	37.5	20	120~180	2	1.15×10^5	
烧碱法	轻工业部造纸研究所	芦苇	长1.2~2.0	46.7	0	145~175	2	4.96×10^4	
硫酸盐法	轻工业部造纸研究所	芦苇	长1.2~2.0	39.0	12.7	145~175	2	2.39×10^4	
硫酸盐法	曹光锐等	麦草			11		2	6.24×10^4	

表1-2-6

不同脱木素反应的活化能常用值

原 料	蒸煮方法	活化能(J/mol)	备注
针叶木	硫酸盐法	1.34×10^5	
热带阔叶木	多硫化钠法	7.09×10^4	12% Na ₂ Sn
热带阔叶木	多硫化钠法	5.20×10^4	8% Na ₂ Sn
芦 苇	硫酸盐法	2.39×10^4	
芦 苇	烧碱法	6.23×10^4	
麦 草	烧碱-蒽醌法	6.59×10^4	大量脱木素阶段
麦 草	烧碱-蒽醌法	8.31×10^4	补充脱木素阶段
蔗 渣	预水解	6.56×10^4	

三、蔗渣预水解过程中反应的动力学计算

(一) 脱聚戊糖及脱木素反应的动力学方程式

【说明】采用水、汽、酸预水解的硫酸盐法主要是用来蒸煮人造纤维纸浆和其他纤维素衍生物用浆。在预水解过程中,不仅有半纤维素的降解溶出,而且也有部分木素降解溶出,其溶出量随原料不同而异。根据预水解过程中聚戊糖和木素脱除的情况,可以计算脱聚戊糖的速率和脱木素的速率。蔗渣预水解过程中脱聚戊糖和脱木素的反应属一级反应,可用反应动力学的一般公式计算。

【公式】

$$-\frac{dp}{dt} = K_p P \quad (1-2-7)$$

$$K_p = K_1 e^{-\frac{E_p}{RT}} \quad (1-2-8)$$

$$-\frac{dL}{dt} = K_L L \quad (1-2-9)$$

$$K_L = K_2 e^{-\frac{E_L}{RT}} \quad (1-2-10)$$

式中 P —— 预水解时间 t 时原料中聚戊糖(或半纤维素)的含量(%)

t —— 预水解时间(h)

$-\frac{dp}{dt}$ —— 聚戊糖脱除速度

K_p —— 脱聚戊糖反应速率常数

K_1, K_2 —— 常数

E_p —— 脱聚戊糖反应活化能,蔗渣 $E_p = 8.28 \times 10^4$ (J/mol)

R —— 气体常数, 8.32 [J/(mol·K)]

T —— 预水解温度(°K)

式1-2-9和式1-2-10中符号含义及单位同式1-2-1和式1-2-4。

(二) 预水解相对反应速率常数的计算

【说明】预水解过程,可以用预水解因子(P —因子)来控制(与用 H 因子控制蒸煮一样),预水解时的相对反应速率常数,可用经验公式计算。

【公式】

$$K_R = 3^{\left(\frac{\theta - 100}{10}\right)} \quad (1-2-11)$$

式中 K_R —— 预水解相对反应速率常数

θ —— 任意温度,即预水解温度(°C)

第二节 碱法蒸煮液的配制计算

一、碱法蒸煮液制备的计算公式

(一) 计算公式

1. 液比的计算

【公式】

$$P = \frac{G}{V} \quad (1-2-12)$$

式中 P —— 液比(t/m³ 或 kg/L)

G —— 绝干原料量(t 或 kg)

V —— 蒸煮总液量(m³ 或 L)

2. 蒸煮总液量的计算

【公式】

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (1-2-13)$$

式中 V —— 总液量(m³ 或 L)

V_1 —— 碱液量(m³ 或 L)

V_2 —— 碱液稀释用水量(m³ 或 L)

V_3 —— 原料中含水量(m³ 或 L)

3. 碱液浓度的计算

【公式】

$$C = \frac{W}{V_1} \quad (1-2-14)$$

式中 C —— 碱液浓度(g/L)

W —— 活性碱量(g)

V_1 —— 碱液体积(L)

4. 硫化度的计算

【公式】

$$D = \frac{W_1}{W_1 + W_2} \times 100\% \quad (1-2-15)$$

式中 D —— 硫化度(%)

W_1 —— 硫化钠的重量(g 或 kg)

W_2 —— 氢氧化钠的重量(g 或 kg)

5. 用碱量的计算

【公式】

$$q = \frac{W}{G} \times 100\% \quad (1-2-16)$$

式中 q —— 用碱量(%), 以 Na₂O 或 NaOH 表示

W, G —— 含义及单位同前

6. 活性碱量的计算

【公式】

$$W = W_1 + W_2 \quad (1-2-17)$$

式中符号及含义同前

【注意】计算时 W_1 和 W_2 需转化成同一种化学组成成分表示, 见下(二)。

7. 有效碱量的计算

【公式】

$$m = \frac{1}{2}W_1 + W_2 \quad (1-2-18)$$

式中 m ——有效碱量(g 或 kg)

其它同前

8. 蒸煮烧碱用量的计算

【公式】

$$W_2 = \frac{40Gq(1 - D)}{31P_2} \quad (1-2-19)$$

式中 W_2 ——烧碱用量[kg/球(或锅)], 以 NaOH 计

G ——总装球(或锅)量(以绝干料片计)(kg)

q ——用碱量(以 Na_2O 计)(%)

P_2 ——烧碱的纯度(%)

40 ——NaOH 的克当量(g)

31 ——NaO 的克当量(g)

9. 硫化钠用量的计算

【公式】

$$W_1 = \frac{39GqD}{31P_1} \quad (1-2-20)$$

式中 W_1 ——硫化钠用量[kg/球(或锅)], 以 Na_2S 计

P_1 ——硫化钠纯度(%)

39 —— Na_2S 的克当量(g)

其它同前

(二) 碱液不同成分含量的相互换算

【说明】碱法蒸煮液通常都是由不同成分构成的, 在进行工艺计算以及化学分析时, 往往需要将这些化合物换算为某一种化学药品来表示, 这就需要首先求出不同化学组分相互换算时的换算因数, 有了换算因数, 就可进行化学成分间含量的换算。欲将化学成分 A 换算成化学成分 B, 则换算因数可用下式计算。

【公式】

$$K = \frac{n_B}{n_A} \quad (1-2-21)$$

式中 K ——换算因数

n_A ——A 物质的克当量

n_B ——B 物质的克当量

【例】1. 求由 Na_2S 换算成 Na_2O 的换算因数

解:
$$K = \frac{n_{\text{Na}_2\text{O}}}{n_{\text{Na}_2\text{S}}} = \frac{31}{39} = 0.795$$

2. 现有 NaOH 500kg, 求相当于 Na_2O 的重量。

解:

$$W = 500K = 500 \times \frac{31}{40} = 387.2(\text{kg})$$

3. 蒸煮液中 NaOH 200kg, Na_2S 300kg, 求蒸煮的活性碱量(以 Na_2O 计)。

解: 活性碱量 = $W_{\text{Na}_2\text{S}} + W_{\text{NaOH}}$

$$= 300K_1 + 200K_2$$

$$= 300 \times \frac{31}{39} + 200 \times \frac{31}{40} = 293.46(\text{kg})$$

【附表】碱法蒸煮液中有关化学药品的分子量及其换算因数见表 1-2-7。

表 1-2-7 碱法蒸煮液化学成分的分子量及其换算因数。

化学药品名称 A	分子式 B	分子量 C	相当于 Na_2O 分子量 62 的 重量 D	各化学药品换 算成 Na_2O 重 量的换算因数 $E = \frac{62}{D}$	Na_2O 换算成 其他化学药品 重量的换算因 数 $F = \frac{D}{62}$	各化学药品换 算成 NaOH 重量的换算因 数 $G = \frac{80}{D}$	NaOH 换算成 其他化学药品 重量的换算因 数 $H = \frac{D}{80}$
(氧化钠)	(Na_2O)	(62.0)	(62.0)	(1.000)	(1.000)	(1.290)	(0.775)
氢氧化钠	Na_2OH	40.0	80.0	0.775	1.290	1.000	1.000
硫化钠	Na_2S	78.0	78.0	0.795	1.258	1.026	0.975
硫氢化钠	NaSH	56.0	112.0	0.554	1.807	0.714	1.400
碳酸钠	Na_2CO_3	106.0	106.0	0.585	1.710	0.753	1.303
硫酸钠	Na_2SO_4	142.0	142.0	0.437	2.290	0.563	1.775
硫代硫酸钠	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	158.1	158.1	0.392	2.635	0.506	1.976
亚硫酸钠	Na_2SO_3	126.0	126.0	0.492	2.032	0.635	1.575

二、碱法蒸煮液的制备计算实例

(一)、硫酸盐法蒸煮液制备计算实例

1. 补充白液量、补充硫化钠及所需黑液量的计算

【例】某厂蒸球容积 40m^3 , 每 m^3 装绝干杂木片 190kg, 用碱量为 18% (Na_2O 计), 硫化度为 22%, 液比 1:2.5, 使用回收的白液中的活性碱浓度为 100g/L, 白液的硫化度为 14%, 进厂固体硫化钠溶解后浓度为 212g/L (Na_2O 计), 求: ①应加多少 m^3 白液? ②应补充多少 m^3 硫化钠? ③如原料水份为 20%, 用黑液配制蒸煮液, 应加多少黑液?

解: ①每球绝干木片装球量 = $40 \times 190 = 7600(\text{kg})$

每球用碱量 = $7600 \times 18\% = 1368(\text{kg})$ (Na_2O 计)

硫化钠用量 = $1368 \times 22\% = 301(\text{kg})$ (Na_2O 计)

烧碱用量 = $1368 - 301 = 1067(\text{kg})$ (Na_2O 计)

白液中硫化钠浓度 = 活性碱浓度 \times 硫化度

$$=100 \times 14\% = 14(\text{g/L})(\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$\text{白液中活性碱浓度} = 100 - 14 = 86(\text{g/L})(\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$\text{白液体积} = \frac{\text{烧碱用量}}{\text{白液浓度}} = \frac{1067}{86} = 12.41(\text{m}^3)$$

$$\text{②白液中 Na}_2\text{S 含量} = 12.41 \times 14 = 173.7(\text{Kg})(\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$\begin{aligned} \text{应补充固体 Na}_2\text{S 量} &= \text{总硫化钠用量} - \text{白液中硫化钠量} \\ &= 301 - 173.7 = 127.3(\text{kg})(\text{Na}_2\text{O 计}) \end{aligned}$$

$$\text{应补充 212g/L 的硫化钠} = \frac{127.3}{212} = 0.60(\text{m}^3)$$

$$\text{③每球木片需总液量} = 7600 \times 2.5 = 19.0(\text{m}^3)$$

$$\begin{aligned} \text{应加黑液量} &= \text{总液量} - \text{碱液量} - \text{木片水分} \\ &= 19.0 - (12.4 + 0.6) - 1.90 = 4.09(\text{m}^3) \end{aligned}$$

2. 氢氧化钠和硫化钠用量的计算

【例 1】某厂蒸煮稻草浆，装含水分 15% 的稻草 4706kg，加浓度为 30% 的液碱 (NaOH) 1600kg，纯度为 60% 的 Na_2S 109.1kg，液比 1:2.5，粗浆产量为 1680kg，求：①应添加水量；②烧碱用量(%)；③硫化碱用量(%)；④硫化度；⑤有效用碱量(kg)。

$$\begin{aligned} \text{解：①应添加水量} &= \text{总液量} - \text{原料含水量} - \text{碱液中含水量} \\ &= 4706 \times (1 - 15\%) \times 2.5 - 4706 \times 15\% - 1600(1 - 30\%) \\ &= 8.174(\text{m}^3) \end{aligned}$$

$$\text{②NaOH 用量} = \frac{1600 \times 30\%}{4706 \times 85\%} \times 100\% = 12\%$$

$$\text{③Na}_2\text{S 用量} = \frac{109.1 \times 60\%}{4706 \times 85\%} \times 100\% = 1.64\%$$

$$\text{④硫化度} = \frac{109.1 \times 60\%}{109.1 \times 60\% + 1600 \times 30\%} \times 100\% = 12\%$$

$$\begin{aligned} \text{⑤有效碱用量} &= \text{NaOH} + \frac{1}{2}\text{Na}_2\text{S} \\ &= 1600 \times 30\% + \frac{1}{2} \times 109.1 \times 60\% \\ &= 512.73(\text{kg}) \end{aligned}$$

【例 2】某厂用硫酸盐法蒸煮风干麦草，装球量为 3300kg/球(绝干)，用碱量为 12% (Na_2O 计)，硫化度为 20%，求：①此球装多少千克麦草？②需加 Na_2S 和 NaOH 各多少千

$$\text{克？解：①装风干草量} = \frac{3300}{(1 - 10\%)} = 3666.7(\text{kg})$$

$$\text{②用碱量} = \frac{\text{活性碱量}}{\text{绝干原料量}}$$

$$\text{活性碱量} = 3300 \times 12\% = 396(\text{kg})(\text{Na}_2\text{O})$$

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{S 的量} &= \text{硫化度} \times \text{活性碱量} \\ &= 20\% \times 396 = 79.2(\text{kg})(\text{Na}_2\text{O}) \end{aligned}$$

$$= 79.2 \times \frac{39}{31} = 99.6(\text{kg})(\text{Na}_2\text{S 计})$$

$$\text{NaOH 的量} = 396 - 79.2 = 316.8(\text{kg})(\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$= 316.8 \times \frac{40}{31} = 408.77(\text{kg})(\text{NaOH 计})$$

【例 3】某 25m³ 蒸球装草量为 3200kg(绝干)，用碱量 13% (Na_2O 计)，硫化度为

22%，烧碱纯度为 95%， Na_2S 纯度为 93%，求：每球加烧碱和硫化钠各多少千克？

解：根据 $W_1 = \frac{39GqD}{31P_1}$ 得

$$\text{Na}_2\text{S 用量} = \frac{39 \times 3200 \times 13\% \times 22\%}{31 \times 93\%} = 123.8 (\text{kg})$$

根据 $W_2 = \frac{42Gq(1-D)}{31P_2}$ 得

$$\text{NaOH 用量} = \frac{40 \times 3200 \times 13\% \times (1-22\%)}{31 \times 95\%} = 440.7 (\text{kg})$$

3. 活性碱浓度与有效碱浓度的相互换算

【公式】

$$C_{\text{活}} = 0.789C_{\text{有}} + 36.23 \quad (1-2-22)$$

式中 $C_{\text{活}}$ ——活性碱浓度(g/L)(Na_2O 计)

$C_{\text{有}}$ ——有效碱浓度(g/L)(Na_2O 计)

4. 硫化钠溶液浓度与相对密度之间的关系

【说明】参见表 1-2-8。

表 1-2-8 硫化钠溶液浓度与相对密度之间的关系(在 $\frac{18}{4^\circ\text{C}}$)

波美度	相对密度	硫化钠(%)	硫化钠(g/L)
1.4	1.0093	1	10.10
3.0	1.0211	2	20.42
6.1	1.0440	4	41.76
9.1	1.0672	6	64.03
12.1	1.0907	8	87.26
14.9	1.1146	10	111.5
17.7	1.1338	12	136.7
20.4	1.1634	14	162.9
23.0	1.1885	16	190.2
25.6	1.2140	18	218.5

(二)烧碱蒸液液的制备计算实例

1. 液体烧碱相对密度与浓度的相互换算

【说明】液体烧碱的相对密度和浓度之间的关系可用下式进行估算。

【公式】

$$c = 300 \times (d^3 - 1) \quad (1-2-23)$$

式中 c ——烧碱浓度(g/L)

d ——烧碱液相对密度

【例】相对密度为 1.13 的碱液，其浓度为：

$$c = 300(d^3 - 1) = 300(1.13^3 - 1) = 109.2 (\text{g/L})$$

2. 烧碱溶液浓度、相对密度与温度间的相互关系

【说明】烧碱溶液的浓度、相对密度与温度间的关系可用列线图法直接查出，不同浓度范围内三者之间的关系见图 1-2-1、图 1-2-2 及图 1-2-3。

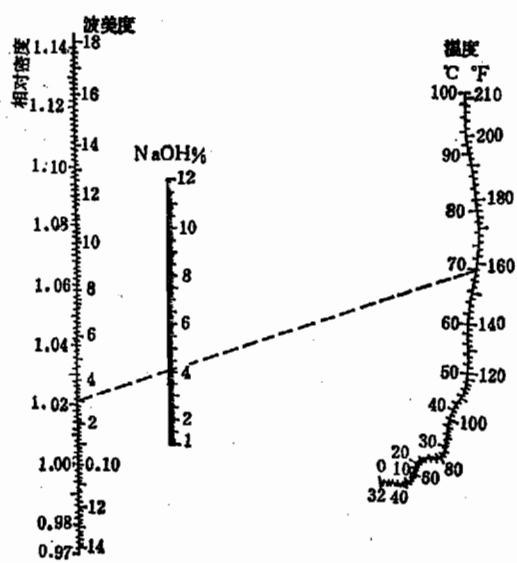


图 1-2-1 1~12%NaOH 溶液浓度与相对密度、温度间的关系

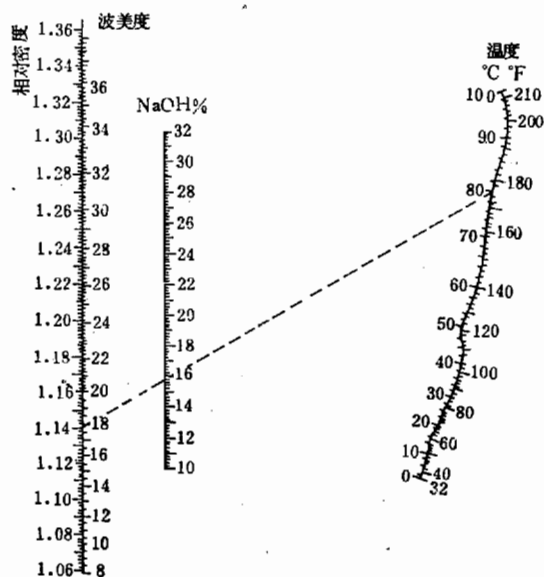


图 1-2-2 10%~32%NaOH 溶液浓度、相对密度与温度间的关系

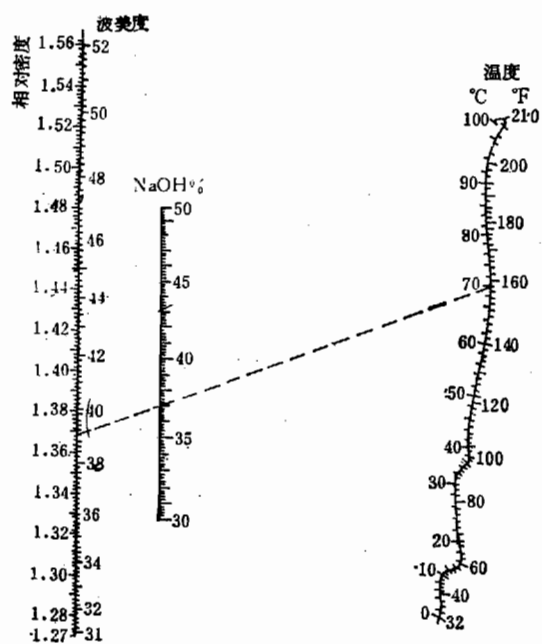


图 1-2-3 35%~50%NaOH 溶液浓度、相对密度与温度间的关系

3. 氢氧化钠溶液相对密度与浓度间的关系

【说明】 参见表 1-2-9。

4. 氢氧化钠溶液百分浓度、当量浓度及体积浓度间的关系

【说明】 参见表 1-2-10

5. 液体烧碱的准确计量计算

表 1-2-9 NaOH 溶液相对密度与浓度间的关系

相对密度	波美度 °Bé	g/L		相对密度	波美度 °Bé	g/L	
		Na ₂ O	NaOH			Na ₂ O	NaOH
1.007	1	4.6	6.0	1.107	14	80.8	104.6
1.014	2	9.4	12.0	1.116	15	89.0	114.9
1.021	3	14.0	18.1	1.125	16	96.4	124.4
1.029	4	20.0	25.7	1.134	17	104.6	134.9
1.036	5	25.3	32.6	1.143	18	111.5	143.9
1.043	6	29.5	38.1	1.152	19	120.5	155.5
1.051	7	35.8	46.2	1.161	20	136.5	165.3
1.059	8	41.9	54.1	1.170	21	128.2	176.2
1.067	9	48.4	62.2	1.180	22	146.3	188.8
1.075	10	54.8	70.7	1.190	23	156.0	201.2
1.091	12	68.3	88.0	1.200	24	165.6	213.7
1.099	13	74.2	95.7	1.210	25	175.5	226.4

表 1-2-10 NaOH 溶液重量百分浓度、当量浓度和体积浓度间的关系

%	N	g/L	%	N	g/L
1	0.25	10	20	6.10	244
2	0.51	20.4	22	6.83	273.2
3	0.77	30.8	24	7.58	303.2
4	1.04	41.6	26	8.35	334
5	1.32	52.8	28	9.15	366
6	1.60	64	30	9.96	398.4
7	1.88	75.2	32	10.79	431.6
8	2.17	86.8	34	11.64	465.6
9	2.47	98.8	36	12.51	500.4
9.5	2.62	104.8	38	13.40	536
10	2.98	119.2	40	14.30	572
12	3.39	135.6	42	15.22	608.8
14	4.04	161.6	44	16.15	646
16	4.70	188	46	17.11	684.4
17.5	5.25	210	48	18.08	723.2
18	5.39	215.6	50	19.07	762.8

【例】 有一液体烧碱计量罐的体积为 5.5m^3 ，计量标尺共分 25 个大格，每大格又分成 10 个小格，经化验分析该批液碱 NaOH 含量为 42%，根据蒸煮工艺要求每球加入碱量为 204kg，试求计量缸应加入多少格的液体碱？

解：每一大格液体碱的体积为： $\frac{5.5}{25}=0.22(\text{m}^3)$

查表 1-2-10 知，42%NaOH 溶液含量为 608.8g/L 或 $608.8\text{kg}/\text{m}^3$ ，则每格含 NaOH

的量为:

$$608.8 \times 0.22 = 133.94(\text{kg/格})$$

每球加入量为:

$$\frac{204}{133.94} \approx 1.52(\text{格/球})$$

6. 烧碱用量和稀释用水量的计算

【例】某厂用烧碱法蒸煮稻草,装锅量为 4000kg,稻草水分为 12%,用碱量为 11% (Na_2O 计),液比 1:2.8,如碱液浓度为 400g/L,求(1)碱液用量为多少?(1)需用多少水量稀释碱液?

解:(1)绝干稻草装锅量 = $4000 \times (1 - 12\%) = 3520(\text{kg})$

稻草含水量 = $4000 \times 12\% = 480(\text{kg})$

用碱量 = $3520 \times 11\% = 387.2(\text{kg})$ (Na_2O 计)

$$= 387.2 \times \frac{40}{31} = 387.2 \times 1.29 = 499.5(\text{kg})$$

$$\text{碱液用量} = \frac{499.5}{400} = 1.249(\text{m}^3)$$

(2)蒸煮总液量 = $3500 \times 2.8 = 9.856(\text{m}^3)$

稀释碱液用水量 = 总液量 - 碱液量 - 原料含水量

$$= 9.856 - 1.249 - 0.48$$

$$= 8.127(\text{m}^3)$$

7. 蒸煮碱液量的计算

【例】蒸煮装绝干原料为 3t,原料含水分为 15%,液比为 1:2.5,计算由配碱站送到蒸煮工段的碱液量?

解:原料中含水分 = $3 \times 15\% = 0.45(\text{m}^3)$

蒸煮总液量 = $3 \times 2.5 = 7.5(\text{m}^3)$

由配碱站送到蒸煮工段的碱液量为:

$$7.5 - 0.45 = 7.05(\text{m}^3)$$

8. 液体碱的贮备量的计算

【例】某厂用 14m^3 蒸球,用烧碱法蒸煮麦草,每日蒸煮 5 球原料,每球装绝干草 2000kg,用碱量为 10% (Na_2O 计),已知在测定液体烧碱中活性碱含量时,称取试样 10g,稀释至 100mL,然后从中吸取 10mL 于锥形瓶中,加 10% BaCl_2 溶液 10mL,酚酞指示剂 2~3 滴,以 0.5N 标准盐酸溶液滴定至终点,消耗 0.5NHCl 标准溶液 20mL,求每日至少应准备这样的液体碱多少千克、计多少立方米?

解:每球活性碱用量为:

$$2000 \times 10\% = 200(\text{kg}) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计})$$

$$= 200 \times \frac{40}{31} = 258(\text{kg}) (\text{NaOH} \text{ 计})$$

5球共需 NaOH 的量为:

$$258 \times 5 = 1290(\text{kg})$$

烧碱的浓度为：

$$\frac{0.5 \times 20 \times 0.04 \times \frac{100}{10}}{10} \times 100\% = 40\%$$

应备40%的烧碱为：

$$\frac{1290}{40\%} = 3225(\text{kg})$$

查表1-2-10知,40%的NaOH其体积浓度为572g/L,故应备药液的体积为：

$$\frac{3225}{572} = 5.64(\text{m}^3/\text{d})$$

(三)碳酸钠溶液浓度、相对密度之间的关系

【说明】 参见表1-2-11

(四)烧碱与亚硫酸钠作蒸煮剂用碱量的计算

【例】某厂用40m³蒸球蒸煮稻草,装球量为5500kg(风干),烧碱用量为18%(NaOH),Na₂SO₃用量为1.2%,液比1:3.2,蒸煮作业全程时间为6h,粗浆得率为45%,原料水分为25%,求:①含水分为25%的原料装球量为多少?②蒸煮系数;③浓度为64g/L的液碱量;④纯度为60%的Na₂SO₃量,⑤应加水量;⑥总碱量。

表1-2-11 碳酸钠溶液的浓度与相对密度之间的关系

波美度	相对密度	碳酸钠(%)	碳酸钠(g/L)
1.2	1.0086	1	10.09
2.7	1.0190	2	20.38
5.6	1.0398	4	41.59
8.3	1.0606	6	63.64
10.9	1.0816	8	86.53
13.5	1.1029	10	110.3
16.0	1.1244	12	134.9
18.5	1.1463	14	160.5

解:①装球量 = $\frac{5500(1-10\%)}{1-25\%} = 6600(\text{kg})$

②蒸煮系数 = $\frac{5500 \times 0.9 \times 45\% \times \frac{24}{6}}{40} = 202.75[\text{kg}(\text{绝干草})/(\text{m}^3 \cdot \text{d})]$

③液碱量 = $\frac{5500 \times 0.9 \times 18\%}{64} = 13.92(\text{m}^3)$

④Na₂SO₃量 = $\frac{5500 \times 0.9 \times 1.2\%}{60\%} = 99(\text{kg})$

⑤应加水量 = 总液量 - 原料含水量 - 碱液量
 $= 5500 \times 0.9 \times 3.2 - (5500 - 4950) - 13.92$
 $= 0.27(\text{m}^3)$

⑥总碱量 = $5500 \times 0.9 \times 18\% + 5500 \times 0.9 \times 1.2\% \times \frac{40}{63}$
 $= 928.71(\text{kg})(\text{NaOH计})$

第三节 蒸煮过程的工艺计算

一、不同原料不同蒸煮设备的装锅量

【说明】参见表1-2-12。

二、不同原料不同纸种蒸煮用碱量

【说明】参见表1-2-13。

三、蒸煮综合工艺计算及其实例

表1-2-12 不同原料不同蒸煮设备的装锅量

原料品种	装锅量(净料重)kg/m ³	
	蒸 球	立式蒸煮锅
白 松		160
马尾松		185
杨 木		170
木 花	113	
板 皮	157	160
红 松		174~180
芦 苇	140~150	175~190
破 布(统布)	130~190	
布鞋和鞋底	270~320	
废 麻	145~168	
稻 草	100~140	
龙须草	124~156	
甘蔗渣	110~130	120~130
原 竹	110~200	190~240
麦 草	110~150	

表1-2-13 不同原料不同纸种蒸煮用碱量

纤维原料品种	用碱量 kg/kg 绝干纤维原料(以 NaOH 计)		
	生产纸板用半料浆	本 色 浆	漂 白 浆
稻草	8~10	11~12	13~15
蔗渣、麦草、荻苇	10~12	12~14	14~18
竹子	12~15	16~17	17~18
木材	12~15	15~18	18~20
破布			4~6
废麻			5~11
龙须草			12~16
高粱秆			13~17

【例】某厂用25m³蒸球蒸煮麦草，每球装风干草4000kg，烧碱用量12%，硫化碱用量2%（均按100%纯度对风干草计），进厂烧碱为液体碱，浓度为300g/L，相对密度为1.246，硫化碱纯度为63%，蒸煮液比1:3。求：①每球的用碱量；②硫化度；③补充水量；④配碱浓度。

解：①每球装绝干草量=4000(1-10%)=3600(kg)

每球烧碱用量(100%固体)=4000×12%=480(kg)

$$\text{液体烧碱用量} = \frac{480}{\frac{300}{1000}} = 1600(\text{L})$$

$$\text{硫化碱用量} = \frac{4000 \times 2\%}{63\%} = 127(\text{kg})$$

$$\text{② 硫化度} = \frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}} = \frac{2\% \times \frac{40}{39}}{2\% \times \frac{40}{39} + 12\%} = 14.6\%$$

$$\begin{aligned} \text{③ 补加水量} &= \text{总液量} - \text{麦草含水量} - \text{液体 NaOH 含水量} \\ &= 3600 \times 3 - 4000 \times 10\% - (1600 \times 1.246 - 480) \\ &= 10800 - 400 - 1544 \\ &= 8936(\text{L}) = 8.94\%(\text{m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{④ 配碱浓度} &= \frac{480 + 4000 \times 2\% \times \frac{40}{39}}{10800 - 400} \\ &= \frac{480 + 81.2}{10400} = 0.054(\text{kg/L}) = 54(\text{g/L}) \end{aligned}$$

四、配碱浓度和蒸煮初期碱液浓度的计算

【例】25m³蒸球的装料量为3500kg 绝干麦草,已知草片水分含量为15%,蒸煮用碱量为10.4%(Na₂O 计),硫化度为11.1%,液比为1:3,试按下列情况计算配碱浓度和蒸煮开始碱液浓度。①采取单独溶解 Na₂S 的办法。已知 Na₂S 纯度为64%,纯 Na₂S 的溶解度(90℃)为57.3g/100g 水,加过量10L 的水溶解。②采用固体 NaOH 溶解。③采用液体 NaOH,其浓度为320g/L(NaOH 计)。

$$\text{解:总液量} = 3500 \times 3 = 10500(\text{L})$$

$$\text{草片中含水量} = 3500 \times \frac{15}{85} = 620(\text{L})$$

$$\text{送入蒸球的碱液量} = 10500 - 620 = 9880(\text{L})$$

$$\text{用碱量} = 3500 \times 10.4\% = 366.2(\text{kg})(\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$\text{硫化钠量} = 366.2 \times 11.1\% = 40.7(\text{kg})(\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$= 40.7 \times \frac{39}{31} = 51.2(\text{kg})(\text{Na}_2\text{S 计})$$

$$\text{氢氧化钠量} = 366.2 - 40.7 = 325.5(\text{kg})(\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$= 325.5 \times \frac{40}{31} = 420(\text{kg})(\text{NaOH 计})$$

①如采取单独溶解硫化钠的办法,则应根据硫化钠的溶解度,加用过量热水,溶解硫化钠。

$$\text{加入64\%的 Na}_2\text{S 的量} = 51.2 \div 64\% = 80(\text{kg})$$

$$\text{需加90℃溶解热水的量} = \frac{80}{57.3} \times 100 + 10 = 150(\text{L})$$

$$\text{硫化钠的浓度} = \frac{51.2}{150} \times 1000 = 341(\text{g/L})(\text{Na}_2\text{S 计})$$

②如采用固体 NaOH 溶解,则

$$\text{溶解 NaOH 的水量} = 9880 - 150 = 9730(\text{L})$$

$$\text{配碱浓度} = \frac{420}{9730} \times 1000 = 43.2 (\text{g/L}) (\text{NaOH 计})$$

$$= 43.2 \times \frac{31}{40} = 33.4 (\text{g/L}) (\text{Na}_2\text{O 计})$$

③采用液体 NaOH 配制:

$$\text{液体 NaOH 的用量} = \frac{420}{320} \times 1000 = 1310 (\text{L})$$

$$\text{应补充水量} = 9730 - 1310 = 8420 (\text{L})$$

$$\begin{aligned} \text{蒸煮初期碱液浓度} &= \frac{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}}{\text{总液量}} \\ &= \frac{(325.5 + 40.7) \times 1000}{9880} \\ &= 37.14 (\text{g/L}) (\text{Na}_2\text{O 计}) \\ &= 37.14 \times \frac{40}{31} \\ &= 47.9 (\text{g/L}) (\text{NaOH 计}) \end{aligned}$$

五、木片蒸煮活性碱用量的估算

【公式】

$$Q_0 = \frac{0.387JV}{20Z(100 - W)} \quad (1-2-24)$$

式中 Q_0 —— 活性碱用量 (mL/g 绝干木片)

J —— 活性碱滴定值 (1NHC1 的毫升数/5mL 白液)

V —— 白液的体积 (ft³)

Z —— 装锅木片量 (t)

W —— 木片水分 (%)

六、木片蒸煮液比的估算

【公式】

$$D = \frac{vd + v_1d_1 + 20ZW}{20Z(100 - W)} \quad (1-2-25)$$

式中 D —— 液比 (mL/g 绝干木片)

d, d_1 —— 白液、黑液的密度 (lb/ft³)

v, v_1 —— 白液、黑液的体积 (ft³)

其它同式 1-2-24

七、木片蒸煮高锰酸钾值、用碱量、液比及 H 因子之间的关系

【公式】

$$P = \frac{5711D^{0.2144}}{Q^{0.913}H^{0.399}} \quad (1-2-26)$$

式中 P —— 高锰酸钾值

H —— H 因子

其它同式 1-2-24 和式 1-2-25

八、蒸煮后期纸浆得率与 H 因子的关系

【公式】 $A = A_0 - mH$ (1-2-27)

式中 A ——在给定的 H 因子下的纸浆得率(%)

A_0 ——外推到 $H = 0$ 时的得率(%)

m ——常数

【例】在采用15%的化学药品的条件下,蒸煮麦草、杨木和云杉,外推至 $H = 0$ 时,麦草得率为 53%,杨木为 63%,云杉为 68.6%,常数 m 分别为 0.003、0.0145、0.0408,求 H 因子在500时的各之的得率。

解:根据 $A = A_0 - mH$ 得:

麦草: $A = 53\% - 0.003 \times 500 = 51.5\%$

杨木: $A = 63\% - 0.0145 \times 500 = 55.75\%$

云杉: $A = 68.6\% - 0.0408 \times 500 = 48.2\%$

九、苇浆蒸煮木素含量与卡伯值的关系

【说明】芦苇硫酸盐浆当木素含量在15%~1%时,与卡伯值成直线关系。

【公式】

木素(%) = 0.105 卡伯值 (1-2-28)

【例】某硫酸盐苇浆经蒸煮后测得其卡伯值为53.1,计算其木素含量。

解:木素含量 = $0.105 \times 53.1 = 5.58\%$

十、蔗渣浆卡伯值与高锰酸钾值的关系

【说明】蔗渣浆(碱法)卡伯值与高锰酸钾值之间的关系见表1-2-14

表1-2-14

碱法蔗渣浆卡伯值与高锰酸钾值之间的关系

序 号	卡 伯 值	高 锰 酸 钾 值
1	19	12
2	18	11
3	16	10
4	14	8
5	13	7

十一、硫酸盐法蒸煮时间的延长或缩短的计算

(一)有一段升温的蒸煮曲线蒸煮时间的计算

【说明】在蒸煮过程中,正常生产情况下的蒸煮曲线是不能改动的,但往往外部条件的影响而又不得不改变其蒸煮曲线,这就容易造成纸浆硬度的不稳。假若能有一个数学公式按当时的蒸煮状况计算出所需要延长或缩短的蒸煮时间的具体数值,将会有效地避免纸浆硬度的偏高或偏低。

1. 升温时间的计算

【公式】

$$t_1 = \frac{2H_1K}{K_1 - 8} \quad (1-2-29)$$

式中 t_1 —— 一段升温时间(h)

K_1 —— 常数,取10.8,见本节“十二”内容

H_1 —— 升温阶段的 H 因子,见本节第“十二”内容

K —— 升温系数

$$K = \frac{K_1}{K_1 + K_2} \quad (1-2-30)$$

K_2 —— 最高温度对应的反应速度常数

2. 保温时间的计算

【公式】

$$t_2 = \frac{H - H_1}{K_2} \quad (1-2-31)$$

式中 t_2 —— 保温时间(h)

H —— 蒸煮过程总 H 因子

K_2 —— 同上

3. 计算实例

① 延长时间的计算

【例】某厂用硫酸盐法蒸煮木浆,最高蒸煮温度为172℃,蒸煮升温时间为1.5h,保温时间1.5h,总 H 因子是1848, H_1 为213。现在因蒸煮用蒸汽汽压不足,需要临时降到170℃,蒸煮时间应延长多少合适?已知170℃时, $K_2 = 927$, $H_1 = 205$ 。

解:升温时间:

$$K = \frac{K_1}{K_1 + K_2} = \frac{10.8}{10.8 + 927} = 0.0115$$

$$t_1 = \frac{2H_1K}{K_1 - 8} = \frac{2 \times 213 \times 0.0115}{10.8 - 8} = 1.75(\text{h})$$

延长升温时间:

$$1.75 - 1.5 = 0.25(\text{h})$$

保温时间:

$$t_2 = \frac{H - H_1}{K_2} = \frac{1848 - 205}{927} = 1.77(\text{h})$$

延长保温时间:

$$1.77 - 1.5 = 0.27(\text{h})$$

蒸煮总时间延长:

$$0.25 + 0.27 = 0.52(\text{h})$$

② 缩短时间的计算

【例】如果将上例中的温度从172℃提高到174℃,总时间能缩短多少?已知:174℃时, $K_2 = 1279$, $H_1 = 210$ 。

解:升温时间:

$$K = \frac{K_1}{K_1 + K_2} = \frac{10.8}{10.8 + 1279} = 0.00836$$

$$t_1 = \frac{2H_1K}{K_1 - 8} = \frac{2 \times 210 \times 0.00836}{10.8 - 8} = 1.27(\text{h})$$

升温时间缩短:

$$1.5 - 1.27 = 0.23(\text{h})$$

保温时间:

$$t_2 = \frac{H - H_1}{K_2} = \frac{1848 - 210}{1279} = 1.28(\text{h})$$

保温时间缩短:

$$1.5 - 1.28 = 0.22(\text{h})$$

蒸煮总时间缩短:

$$0.23 + 0.22 = 0.45(\text{h})$$

(二)有两段升温的蒸煮曲线蒸煮时间的计算

1. 第一段升温及保温时间的计算

【说明】同式1-2-29、1-2-30、1-2-31。

2. 第二段升温及保温时间的计算

【公式】

$$t_2 = \frac{2H_2K}{K_1 - 8} \quad (1-2-32)$$

$$t_3 = \frac{H - H_1 - H_2}{K_2} \quad (1-2-33)$$

式中 t_2 —— 第二段升温时间(h)

K —— 升温系数

$$K = \frac{K_1}{K_1 + K_2} \quad (1-2-34)$$

K_1 —— 第二段升温开始温度所对应的反应速度常数

K_2 —— 第二段最高温度对应的反应速度常数

H_2 —— 第二段升温时间标准 H 因子

t_3 —— 第二段保温时间(h)

H_1 —— 一段升温和保温的 H 因子之和

H —— 总 H 因子

【例1】某厂在其它蒸煮条件不变的条件下,研究蒸煮曲线的改变。一段升温1h,小保温20min,二段升温1h,大保温1h,大放汽和放锅0.5h,总 H 因子 1865,一段及小保温时的 H_1 因子是 38,二段的 H_2 因子是548,最高蒸煮温度174℃,现因蒸煮用蒸汽的汽压不足,需临时改为170℃,则第二段升温及保温时间为多少?已知小保温终了的温度是141℃,此时的 $K_1 = 73$,170℃的 $K_2 = 927$;二段升温终了时 $H_2 = 414$ 。

解:升温时间。

$$K = \frac{K_1}{K_1 + K_2} = \frac{73}{73 + 927} = 0.073$$

$$t_2 = \frac{2H_2K}{K_1 - 8} = \frac{2 \times 414 \times 0.073}{73 - 8} \times 0.073 = 1.23(\text{h})$$

二段的升温时间比原来延长:

$$1.23 - 1 = 0.23(\text{h})$$

二段保温时间:

$$t_3 = \frac{H - H_1 - H_2}{K_2} = \frac{1865 - 38 - 414}{927} = 1.52(\text{h})$$

保温时间延长: $1.52 - 1 = 0.52(\text{h})$

二段升温、保温延长总时间: $0.23 + 0.52 = 0.75(\text{h})$

【例2】若将上例中蒸煮最高温度由174℃提高到176℃,此时 $K_2 = 1503$, $H_2 = 382$, 求升温 and 保温缩短的时间。

解:二段升温时间: $K = \frac{K_1}{K_1 + K_2} = \frac{73}{73 + 1503} = 0.046$

$$t_2 = \frac{2H_2K}{K_1 - 8} = \frac{2 \times 548}{73 - 8} \times 0.046 = 0.78(\text{h})$$

比原来缩短时间 $= 1 - 0.78 = 0.22(\text{h})$

大保温时间: $t_3 = \frac{H - H_1 - H_2}{K_2} = \frac{1865 - 38 - 382}{1503} = 0.96(\text{h})$

缩短时间 $= 1 - 0.96 = 0.04(\text{h})$

总缩短时间 $= 0.22 + 0.04 = 0.26(\text{h})$

十二、蒸煮 H 因子的计算

(一) H 因子的计算方法

【说明】 H 因子是表示在蒸煮过程中的相对反应速率和蒸煮时间的关系。它是以不同蒸煮温度下的反应速率对其相应的蒸煮时间所作出的曲线下方的面积,亦即反应速率与蒸煮时间的乘积。

实验证明,同一原料在其它蒸煮条件一定时,只要控制相同的 H 因子,得到的纸浆得率和木素含量则相同,这对蒸煮过程中调整蒸煮工艺,尤其是蒸煮过程的自动化和连续化等方面是重要的控制因素。不同原料不同制浆方法的 H 因子的计算方法相同。现以麦草及木浆的硫酸盐法制浆实验及 H 因子的计算加以说明。

1. 麦草硫酸盐法蒸煮的实验及 H 因子的计算

【说明】某小型试验的工艺条件为:用碱量13%(Na_2O 计),硫化度11%,液比1:6,绝干原料为53.6g/罐,其实验结果见表1-2-15。

表1-2-15 不同温度下的分析结果

温 度(℃)	70						100					
保温时间(min)	30	60	90	120			30	55		85	115	
残 碱(g/L)	13.8	12.48	12.40	13.13			11.52	11.41		10.73	10.55	
木素%(对草)	7.97	7.52	7.25	6.83			5.29	4.95		4.60	4.34	
温 度(℃)	110						120					
保温时间(min)	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
残 碱(g/L)	3.43	2.80	2.79	2.78	2.64	2.48	2.91	2.64	2.01	2.34	2.27	2.51
木素%(对草)	5.53	5.11	4.32	3.50	3.25	2.96	4.48	3.42	3.04	2.68	2.41	2.17
温 度(℃)	130						160					
保温时间(min)	15	35	60	90		0	10	20		40	60	80
残 碱(g/L)	11.0	9.60	9.68	9.99	2.62	1.98	1.42	1.32		1.21	1.11	
木素%(对草)	2.79	2.11	1.44	1.33	2.52	1.56	1.11	0.89		1.01	0.69	

① 反应级数的确定

【说明】 由表1-2-15看出,首先,从各种温度下脱木素的反应速度不是等速而是逐渐减少,可判断都不是零级反应(见本章第一节)。其次,用图解法及最小二乘法决定反应级数及反应速率常数,最后发现二级反应的线性关系比一级反应的好,故确定为二级反应。其相关系数及离差值见表1-2-16。

表1-2-16

相关系数及离差值

温 度 C		70	100	110	120	130	160
相关系数 γ	一级反应	0.996	0.979	0.910	0.982	0.955	0.900
	二级反应	0.992	0.981	0.990	0.996	0.965	0.964
离差 s	一级反应	0.0709	0.0187	0.128	0.0552	0.125	0.254
	二级反应	0.001358	0.00366	0.0101	0.00858	0.0594	0.126

② 活化能的计算

【说明】 根据 $K = K_0 e^{-\frac{E}{RT}}$ (见式1-2-4)

$$\text{得: } \ln K = \ln K_0 - \frac{E}{RT} \quad (1-2-35)$$

按最小二乘法求出: $L_{xx} = 1.904 \times 10^{-7}$

$$L_{yy} = 11.5537$$

$$\gamma = 0.962$$

$$\text{故 } -\frac{E}{R} = \frac{-1.4273 \times 10^{-3}}{1.904 \times 10^{-7}} = -7496.23$$

$$E = 62362 (\text{J/mol})$$

③ 相对反应速率的计算

【说明】 假设70℃时反应速率为1,则:

$$\ln K = 21.845 - \frac{62362}{RT} = 21.845 - \frac{7296}{T}$$

$$K = \ln^{-1} \left(21.845 - \frac{7296}{T} \right) \quad (1-2-36)$$

将不同温度代入此式,即可求出各相应温度下的 K 值,见表1-2-17。

④ H 因子的计算

【公式】

$$H = \sum H_i = \sum K_i t_i \quad (1-2-37)$$

式中 H —— 全周期 H 因子

K_i —— 平均反应速率

t_i —— 时间间隔(h)

H_i —— 一段时间间隔内的 H 因子

【例】 按上述试验条件计算的全周期 H 因子为226,详见表1-2-18。

表1-2-17

不同温度下的 K 值

温 度($^{\circ}\text{C}$)	相对速率	温 度($^{\circ}\text{C}$)	相对速率	温 度($^{\circ}\text{C}$)	相对速率	温 度($^{\circ}\text{C}$)	相对速率
70	1.00	93	3.94	116	18.22	139	38.74
71	1.07	94	4.17	117	18.87	140	40.48
72	1.13	95	4.41	118	14.59	141	42.30
73	1.21	96	4.66	119	15.32	142	44.18
74	1.29	97	4.96	120	16.09	143	46.14
75	1.37	98	5.20	121	16.88	144	48.18
76	1.46	99	5.48	122	17.72	145	50.29
77	1.54	100	5.79	123	18.58	146	52.49
78	1.64	101	6.11	124	19.49	147	54.77
79	1.75	102	6.44	125	20.44	148	57.14
80	1.86	103	6.79	126	21.42	149	59.61
81	1.97	104	7.16	127	22.45	150	62.16
82	2.09	105	7.55	128	23.53	151	64.81
83	2.22	106	7.96	129	24.65	152	67.56
84	2.35	107	8.38	130	25.81	153	70.42
85	2.50	108	8.83	131	27.03	154	73.38
86	2.65	109	9.29	132	28.29	155	76.45
87	2.80	110	9.78	133	29.61	156	79.63
88	2.97	111	10.29	134	30.99	157	82.93
89	3.14	112	10.83	135	32.42	158	86.35
90	3.33	113	11.38	136	33.90	159	89.90
91	3.52	114	11.97	137	35.45	160	93.57
92	3.73	115	12.58	138	37.06		

表1-2-18

全周期 H 因子计算结果

时 间	温 度	相对速率	H 因子 (=平均速率 \times 时间间隔)
0.00	70	1	
0.17	85	3	$2 \times 0.17 \approx 0$
0.37	100	6	$5 \times 0.20 = 1$
0.67	120	16	$11 \times 0.30 \approx 3$
1.00	140	40	$28 \times 0.33 \approx 9$
1.38	160	94	$67 \times 0.38 \approx 25$
...
3.38	160	94	$94 \times 2.00 = 188$
			合计226

2. 硫酸盐木浆的 H 因子计算

【说明】硫酸盐法木浆 H 因子的计算与硫酸盐麦草浆的计算方法完全相同,只是不同制浆方法的反应活化能 E 不同(见表1-2-5和表1-2-6)。硫酸盐法木浆的活化能值为133978J/mol。另外,硫酸盐法木浆的反应速率的计算通常假设100 $^{\circ}\text{C}$ 时,反应速率为1,则反应常数为43.2。

【公式】 $K = \ln^{-1}(43.2 - \frac{16113}{T})$

(1-2-38)

$$H = \Sigma H_i = \Sigma K_i t_i$$

式中符号含义及单位见式1-2-4及式1-2-37。

(二) H 因子的应用计算实例

1. 应用 H 因子求保温时间

【例】某厂用硫酸盐法蒸煮木浆，已知原蒸煮工艺升温曲线见图1-2-4上图中实线部分，蒸煮控制温度及时间如表1-2-19。现因某种需要，将前四段的升温曲线作以调整（见图1-2-4上图中虚线部分），且各段控制温度及时间如表1-2-20。若调整后蒸煮最高温度为170℃，硫酸盐木浆的反应活化能为133978J/mol (32kcal/mol)，要求浆的硬度及得率与调整前保持不变。求：①保温时间为多少小时？②调整后比调整前全程节省时间。

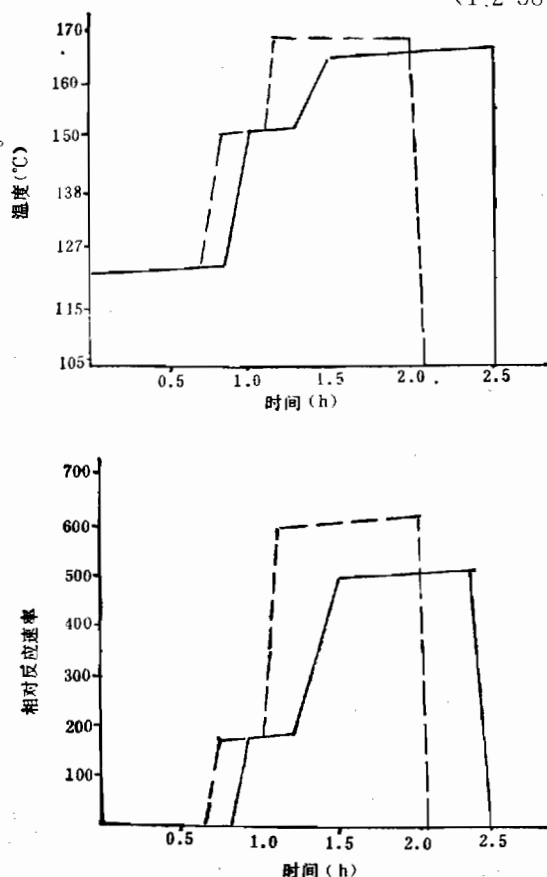


图1-2-4 按 H 因子调整蒸煮时间

表1-2-19

调整前蒸煮各段温度及时间控制

调整前	第一段	第二段	第三段	第四段	第五段
温度(℃)	122~124	124~151	151~153	153~165	165~167
时间(h)	0~0.8	0.8~1.0	1.0~1.3	1.3~1.5	1.5~2.5
H 因子	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5

表1-2-20

调整后蒸煮各段温度及时间控制

调整后	第一段	第二段	第三段	第四段	第五段
温度(℃)	122~123	123~150	150~152	152~170	170
时间(小时)	0.7	0.7~0.8	0.8~1.2	1.2~1.3	
H 因子	H_1'	H_2'	H_3'	H_4'	H_5'

解：①根据式1-2-38，计算出在各种不同温度时的蒸煮反应速率 K 值如表1-2-21。根据式1-2-37，经查表1-2-21，可求得调整前各段升温的 H 因子及总 H 因子。

$$H_1 = \frac{11 + 14}{2} \times 0.8 = 10 \quad H_2 = \frac{182 + 14}{2} \times (1.0 \times 0.8) = 19.6$$

$$H_3 = 59.9 \quad H_4 = 82.7 \quad H_5 = 663$$

$$H_{\text{总}} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 = 835$$

* 同理,可求得调整蒸煮升温曲线后前四段

表1-2-21

不同温度下的反应速率 K

温度(°C)	K	温度(°C)	K	温度(°C)	K	温度(°C)	K
100	1.0	125	15.1	150	165.0	175	1382.8
101	1.1	126	16.7	151	180.6	176	1498.1
102	1.3	127	18.5	152	197.4	177	1622.5
103	1.4	128	20.4	153	215.8	178	1756.6
104	1.6	129	22.6	154	235.8	179	1901.1
105	1.8	130	24.9	155	257.5	180	2056.7
106	2.0	131	27.5	156	281.2	181	2224.3
107	2.2	132	30.4	157	306.8	182	2404.8
108	2.5	133	33.5	158	334.7	183	2599.0
109	2.8	134	36.9	159	365.0	184	2807.9
110	3.1	135	40.7	160	397.8	185	3032.6
111	3.5	136	44.8	161	433.4	186	3274.2
112	3.8	137	49.3	162	472.0	187	3533.8
113	4.3	138	54.3	163	513.9	188	3812.8
114	4.8	139	59.7	164	559.2	189	4112.5
115	5.3	140	65.6	165	608.3	190	4434.2
116	5.9	141	72.1	166	661.5	191	4779.6
117	6.6	142	79.2	167	719.1	192	5150.2
118	7.3	143	86.9	168	781.3	193	5547.7
119	8.1	144	95.4	169	848.7	194	5974.1
120	9.0	145	104.6	170	921.4	195	6431.2
121	10.0	146	114.7	171	1000.1	196	6921.1
122	11.1	147	125.7	172	1085.1	197	7445.9
123	12.3	148	137.7	173	1176.9	198	8008.1
124	13.6	149	150.8	174	1275.9	199	8610.1

的 H 因子为:

$$H_1' = 8 \quad H_2' = 9 \quad H_3' = 72 \quad H_4' = 56$$

因为调整后蒸煮总 H 因子与调整前总 H 因子相等,即:

$$H_{\text{总}}' = H_{\text{总}}$$

$$\text{故} \quad 835 = 8 + 9 + 72 + 56 + H_5'$$

$$H_5' = 690$$

变更后第五段需保温时间为:

$$H_5' = K_5' t$$

查表1-2-21知 $K_5' = 921$

$$\text{故} \quad t = \frac{H_5'}{K_5'} = \frac{690}{921} \approx 0.75(\text{h})$$

②变更后全程时间为:

$$t_{\text{总}}' = t_1' + t_2' + t_3' + t_4' + t_5'$$

$$= 0.7 + (0.8 - 0.7) + (1.2 - 0.8) + (1.3 - 1.2) + 0.75 \\ = 2.0(\text{h})$$

变更前全程时间为:

$$t_{\text{总}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \\ = 2.5(\text{h})$$

变更后全程节省时间为:

$$\Delta t = t_{\text{总}} - t_{\text{总}}' = 2.5 - 2.0 = 0.5(\text{h})$$

2. 应用 H 因子求蒸煮最高温度

【例】在上例中,若其它已知条件不变,假设现因某种需要,要求将调整后的蒸煮时间控制在2小时,求第五段保温的最高温度。

解:由上例计算得知,设蒸煮的最高温度为 T ,最高温度下的发应速率为 K_T' ,则

$$H_4' = K_4' t_4' = \frac{197 + K_T'}{2} t_4'$$

$$H_5' = K_T' t_5'$$

$$H_4' + H_5' = H_{\text{总}} - (H_1' + H_2' + H_3')$$

将已知数据代入并整理得:

$$\begin{cases} H_4' = \frac{197 + K_T'}{2} \times 0.1 \\ H_5' = K_T' \times 0.75 \\ H_4' + H_5' = 835 - (8 + 9 + 72) = 746 \end{cases}$$

解之得: $K_T' = 920$

查表1-2-21得, $T = 170(^{\circ}\text{C})$

3. 由缩短升温时间求延长保温时间及总节省时间

【例】假定某蒸煮工艺原来用1.5h自80℃升温至170℃,在此温度下保温1.5h,总蒸煮时间为3h;现改为用10min自170℃升至180℃,若要达到与原来相同硬度和得率的纸浆,需在180℃下保温多长时间?(蒸煮硫酸盐木浆)

解:根据 $H = Kt$,求出升温及保温过程的 H 因子如表1-2-22,并得总 H 因子为:

$$H_{\text{总}} = 1584$$

10min(0.17h)由170℃升温至180℃时的 H 因子:

$$H_1 = \left(\frac{2057 + 921}{2} \right) \times \frac{10}{60} = 455$$

在180℃保温过程中的 H 因子:

$$H_2 = 1584 - 455 = 1129$$

需保温时间经查表1-2-21,得 $K_{180} = 2057$,则

$$t_1 = \frac{H_2}{K} = \frac{1129}{2057} = 0.55(\text{h})$$

总节省时间为:

$$\Delta t = t_{\text{原}} - t_{\text{后}} \\ = 3.00 - \left(0.55 + 1.5 + \frac{10}{60} \right) = 3.00 - 2.22$$

$$=0.78(\text{h})=47(\text{min})$$

4. 降低蒸煮最高温度求需延长蒸煮时间

表1-2-22

H 因子的计算

	升温时间(h)	温度(°C)	相对反应速率	H 因子(平均速率×间隔时间(h))
	0.00	80	0	0×0
	0.25	95	0	0×0.25=0
	0.50	110	3	2×0.25≈1
	0.75	125	15	9×0.25≈2($\frac{15+3}{2}=9$)
	1.00	140	66	41×0.25≈10
	1.25	155	260	163×0.25≈41
	1.33	160	398	329×0.08≈26
	1.50	170	921	590×0.25≈148
	...			总升温期间共计 202
	3.00	170	921	921×1.5=1382
				总计全周期为 1382+202=1584
	0.00	80	921	
	...			
	1.50	170	921	升到 170°C 共计 202
	...			
	1.67	180	2057	1489×0.17=253
	...			总升温期间共计 202+253=455
	2.22	180	2057	2057×0.55=1131
				总计全周期为 1131+455=1586

注: I —— 升温时间 1.5h; 保温时间 1.5h; 最高蒸煮温度为 170°C。

II —— 升温时间 1.67h; 保温时间 0.55h; 最高蒸煮温度为 180°C。

【例】在上例中,如在正常情况下在 170°C 的最高温度下,共需 3h,如因某种原因蒸煮温度仅能维持 160°C,欲获得相同质量的纸浆,应延长多长时间?

解:由表 1-2-22 可知,升温过程中 155~160°C 时的 H 因子为:

$$H_1 = \left(\frac{260 + 398}{2} \right) \times 0.08 = 26$$

而在 155°C 以前总 H 因子为:

$$H_2 = 41 + 10 + 2 + 1 = 54$$

升温至 160°C 以前总 H 因子:

$$H_3 = 54 + 26 = 80$$

160°C 下保温期需达到的 H 因子:

$$H_4 = 1584 - 80 = 1504$$

所需 160°C 下保温时间为(查表 1-2-21,得 $K_{160} = 398$):

$$t = \frac{H}{K} = \frac{1504}{398} = 3.8(\text{h})$$

第四节 蒸煮锅硫酸盐法蒸煮工艺计算及实例

一、蒸煮液用量的计算

【例】已知条件:

蒸煮锅装绝干原料量 G : 18t/锅

装锅原料水分 P : 20%

用碱量(活性碱, Na_2O) $A: 12\%$

硫化度 $B: 14\%$

液比 $C: 1:4$

回收白液中活性碱浓度 $M: 70\% \text{g/L} (\text{Na}_2\text{O})$

白液硫化度 $B': 10\%$

外购硫化碱液浓度 $M': 80\% \text{g/L} (\text{Na}_2\text{S})$

求: ①需用白液量的计算;

②应补加硫化碱液量;

③应加污热水量。

解: ①每锅需加活性碱(以 Na_2O 计)量 W :

$$W = GA = 18000 \times 12\% = 2160 (\text{kg}) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计})$$

其中 Na_2S 需用量 $W_1 = WB = 2160 \times 14\% = 302 (\text{kg}) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计})$

NaOH 需用量 $W_2 = W - W_1 = 2160 - 302 = 1858 (\text{kg}) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计})$

白液中 NaOH 浓度为 C_1 :

$$\begin{aligned} C_1 &= M(1 - B') = 70(1 - 10\%) \\ &= 63 (\text{g/L 或 kg/m}^3) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计}) \end{aligned}$$

白液中 Na_2S 浓度为 C_2 :

$$C_2 = MB' = 70 \times 10\% = 7 (\text{g/L 或 kg/m}^3) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计})$$

每锅需用白液量为 V :

$$V = \frac{W_2}{C_1} = 29.5 (\text{m}^3)$$

②每锅所用白液中含硫化钠的量为 W_3 :

$$W_3 = VC_2 = 29.5 \times 7 = 206.5 (\text{kg/锅}) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计})$$

每锅补加的 Na_2S 的量为 W_4 :

$$W_4 = W_1 - W_3 = 302 - 206.5 = 95.5 (\text{kg/锅}) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计})$$

购入的硫化碱液浓度换算为 Na_2S 的量为 M_1 :

$$M_1 = M' \times 0.795 = 80 \times 0.795 = 63.6 (\text{g/L}) (\text{Na}_2\text{O} \text{ 计})$$

应补加硫化碱液量为 V_1 :

$$V_1 = \frac{W_4}{M_1} = \frac{95.5}{63.6} = 1.5 (\text{m}^3)$$

③需用污水量 V_2 的计算

每锅需用总液量 $V_{\text{总}}$:

$$V_{\text{总}} = GC = 18 \times 4 = 72 (\text{m}^3)$$

原料带入的水量 V_3 :

$$V_3 = G \frac{p}{(1-p)} = 18 \times \frac{20\%}{1-20\%} = 4.5 (\text{m}^3)$$

应补加污热水量 V_2 :

$$\begin{aligned} V_2 &= V_{\text{总}} - (V + V_1 + V_3) \\ &= 72 - (29.5 + 1.5 + 4.5) \\ &= 36.5 (\text{m}^3) \end{aligned} \quad (1-2-39)$$

二、碱法蒸煮锅蒸煮物料衡算及实例

【例】已知条件：

蒸煮锅容积 V : 125m^3

蒸煮锅加热方式：强制循环间接加热

木片装锅量 C : $0.38\text{m}^3(\text{实积})/\text{m}^3$ 锅容

木片水分 p : 40%

湿木材折合为绝干木材的容积量 G_1 : $430\text{kg}/\text{m}^3$

活性碱用量(对绝干木材,以 Na_2O 计) A : 15.5%

每 m^3 锅容总液量(包括木片水分) $V_{\text{总}}$: 550L

白液浓度(Na_2O 计) M_1 : $100\text{g}/\text{L}$

入锅黑液浓度(15°C) M_2 : $12^\circ\text{Be}'$

纸浆得率(对木材) S : 48%

蒸煮曲线：见图 1-2-5

计算以 1 吨风干浆为基准。

(一)装锅送液过程的计算

1. 入锅木片及产浆量的计算

每米³ 锅容装绝干木片量 G_2 :

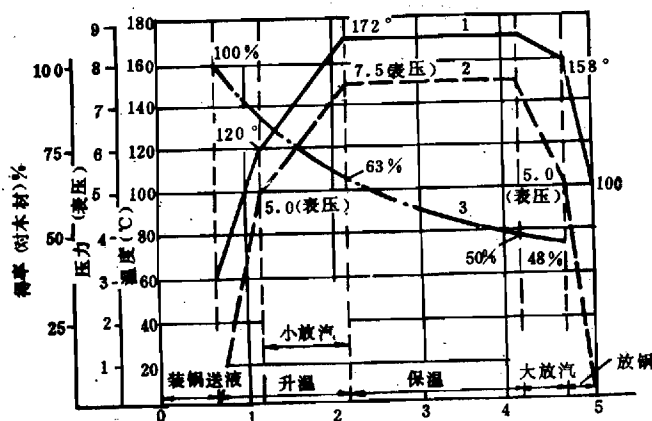


图 1-2-5 物料衡算用蒸煮曲线

1—温度 2—压力 3—得率

$$G_2 = G_1 C = 430 \times 0.38 = 163.4 (\text{kg}/\text{m}^3)$$

每米³ 锅容产绝干浆量 G_3

$$G_3 = G_2 S = 163.4 \times 48\% = 78.4 (\text{kg}/\text{m}^3)$$

每米³ 锅容产风干浆量 G_4 :

$$G_4 = \frac{G_3}{1 - 10\%} = \frac{78.4}{0.9} = 87 (\text{kg}/\text{m}^3)$$

每锅产风干浆量 G :

$$G = G_4 V = 87 \times 125 = 10875 (\text{kg}/\text{锅})$$

每产 1 吨风干浆需装绝干木片量 G_5 :

$$G_5 = \frac{900}{S} = \frac{900}{48\%} = 1875 (\text{kg/锅})$$

木片带入的水分 W :

$$W = G_5 \frac{p}{(1-p)} = 1875 \times \frac{40\%}{1-40\%} = 1250 (\text{L})$$

每米³ 锅容木片带入的水分 V_1 :

$$V_1 = G_2 \frac{p}{(1-p)} = 163.4 \times \frac{40\%}{1-40\%} = 109 (\text{L})$$

2. 入锅白液及黑液量的计算

每米³ 锅容送入的白液及黑液量 V_2 :

$$\begin{aligned} V_2 &= V_E - V_1 = 550 - 109 \\ &= 441 (\text{L/m}^3) (\text{或为锅容的 } 44.1\%) \end{aligned}$$

每产 1t 风干浆应送液量 V_3 :

$$V_3 = V_2 \frac{1000}{G_4} = 441 \times \frac{1000}{87} = 5069 (\text{L})$$

每产 1t 风干浆耗用活性碱 (Na_2O 计) 量 W_2

$$W_2 = G_5 A = 1875 \times 15.5\% = 291 (\text{kg/t 风干浆})$$

需送白液体积 V_4 :

$$V_4 = \frac{W_2}{M_1} = \frac{291}{100} = 2.91 (\text{m}^3/\text{锅}) = 2190 (\text{L/锅})$$

白液占总碱液量的百分比 E :

$$E = \frac{V_4}{V_3} \times 100\% = \frac{2190}{5069} \times 100\% = 57.4\%$$

送入黑液的体积 V_5 :

$$V_5 = V_3 - V_4 = 5069 - 2190 = 2159 (\text{L})$$

黑液体积占总碱液量的百分比 F :

$$F = \frac{V_5}{V_3} \times 100\% = \frac{2159}{5069} \times 100\% = 42.6\%$$

3. 白液组成的计算

已知: 硫化度 B 为 25%, 苛化率 D 为 88%, 还原率 Q 为 92%, 则:

NaOH 含量 = $100 \times (1 - 0.25) = 75 (\text{g/L})$ (以 Na_2O 计)

$$= 75 \times \frac{40}{31} = 96.8 (\text{g/L}) (\text{NaOH 计})$$

Na_2S 含量 = $100 \times 25\% = 25 (\text{kg/L})$ (Na_2O 计)

$$= 25 \times \frac{39}{31} = 31.5 (\text{g/L}) (\text{Na}_2\text{S 计})$$

Na_2CO_3 含量 = $75 \times \frac{1-88\%}{88\%} = 10.2 (\text{g/L})$ (Na_2O 计)

$$= 10.2 \times \frac{53}{31} = 17.4 (\text{g/L}) (\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 计})$$

Na_2SO_4 含量 = $25 \times \frac{1-92\%}{92\%} = 2.2 (\text{g/L})$ (Na_2O 计)

$$= 2.2 \times \frac{71}{31} = 5.0 (\text{g/L}) (\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ 计})$$

白液组成总 Na_2O 量 T :

$$T = 75 + 25 + 10.2 + 2.2 = 112.4 (\text{g/L}) (\text{Na}_2\text{O 计})$$

白液组成原成分总量 U :

$$U = 96.8 + 31.5 + 17.4 + 5.0 = 150.7$$

碱液活性度 M_3 :

$$M_3 = \frac{M_1}{T} = \frac{100}{112.4} \times 100\% = 89\%$$

入锅白液的总 Na_2O 量 W_3 :

$$W_3 = \frac{W_1}{M_3} = \frac{291}{89\%} = 327 (\text{kg/t 风干浆})$$

以 Na_2O 折合原成分的换算系数 K :

$$K = \frac{U}{T} = \frac{150.7}{112.4} = 1.34$$

入锅白液所含无机盐 (Na_2S , Na_2CO_3 和 Na_2SO_4) 的量 W_4

$$W_4 = W_3 K = 327 \times 1.34 = 438 (\text{kg})$$

4. 入锅黑液的组成计算

已知: 黑液固形物中有机物与无机物之比为 7:3, 则:

入锅黑液的固形物 W_5 :

$$W_5 = V_5 \times 0.183 = 2159 \times 0.183 = 395 (\text{kg})$$

式中 0.183 —— 浓度为 $12^\circ\text{Be}'$ (15°C) 的黑液, 每升含有绝干固形物为 0.183kg

入锅黑液中有机物量 W_6 :

$$W_6 = W_5 \times 0.7 = 395 \times 0.7 = 277 (\text{kg})$$

入锅黑液中无机物量 W_7 :

$$W_7 = W_5 \times 0.3 = 395 \times 0.3 = 118 (\text{kg})$$

黑液的 Na_2O 含量 W_8 (取黑液无机物的组成与白液相同):

$$W_8 = W_7 \times \frac{1}{K} = 118 \times \frac{1}{1.34} = 88 (\text{kg})$$

入锅全部物料量列表 1-2-23。

表 1-2-23 入锅物料组分及数量表 (kg/t 风干浆)

装入锅内的物料		进 入 锅 内		
		随 木 片	随 白 液	随 黑 液
水		1250	2019	2159
有 机 物	木材	1875	—	—
	黑液中溶解物	—	—	277
无 机 物		—	438	118
总 计		3125	3318	2554
其中: 总 Na_2O		—	327	88

(二) 升温过程的计算

1. 小放汽排出的蒸汽量及挥发物计算

(1) 每吨风干浆放出的蒸汽量 G'

【说明】据布拉麦尔资料, 每吨绝干木片在小放汽时放出约 90kg 蒸汽。

$$G' = G_1 \times 90 = 1875 \times 90 = 169 (\text{kg})$$

(2) 每吨风干浆放出的挥发物的量

【说明】按黑格隆德数据, 每产 1t 松木浆, 随小放汽跑出的挥发性物质为:

粗松节油:11kg

甲醇:5kg

甲硫醇:1kg

二甲硫醚:3kg

总计:20kg

2. 小放汽排出的液量 V_1'

【说明】小放汽从锅内排出的碱液约占锅内总液量的1%,查表1-2-23知,入锅总液量为6319kg/t风干浆,则:

$$\begin{aligned} V_1' &= 6319 \times 1\% = 63(\text{kg/t 风干浆}) \\ &= 63(\text{L/t 风干浆}) \end{aligned}$$

3. 小放汽排出的碱液中的有机物计算

① 溶解于碱液中的物质的量 G_2'

【说明】按得率曲线(见图1-2-5),在达到最高温度时的得率为63%。

$$G_2' = G_1(1 - 63\%) = 1875(1 - 0.63) = 694(\text{kg})$$

② 在溶液中保留的有机物量 G_3'

$$G_3' = G_2' - 20 = 694 - 20 = 674(\text{kg})$$

式中 20——小放气排出的挥发物(kg/t风干浆)

③ 升温末期溶液中的有机物量 G_4'

$$G_4' = G_3' + 277 = 674 + 277 + 951(\text{kg/t 风干浆})$$

式中 277——入锅黑液中的有机物(kg/t风干浆),见表1-2-23

④ 升温期锅内溶解有机物的算术平均值 G_5'

$$G_5' = \frac{G_4' + 277}{2} = 614(\text{kg/t 风干浆})$$

⑤ 升温末期锅内存留的液量 V_2'

$$\begin{aligned} V_2' &= 6319 - (G_1' + V_1') \\ &= 6319 - (169 + 63) = 6087(\text{kg 或 L}) \end{aligned}$$

⑥ 升温期液量的算术平均值 V_3'

$$V_3' = \frac{6319 + V_2'}{2} = \frac{6319 + 6087}{2} = 6203(\text{L/t 风干浆})$$

⑦ 溶液中有机的平均浓度 C_1'

$$C_1' = \frac{G_5'}{V_3'} = \frac{614}{6087} = 0.101(\text{kg/L})$$

⑧ 小放汽排出液体中的有机物量 G_6'

$$G_6' = C_1' V_1' = 0.101 \times 63 = 6.36(\text{kg/t 风干浆})$$

4. 小放汽排出的液体中的无机物计算

① 升温期碱液内无机物的平均浓度 C_2'

$$C_2' = \frac{556}{V_2'} = \frac{556}{6087} = 0.091(\text{kg/L})$$

式中 556——进入锅内无机物总量(kg/t风干浆)见表1-2-23

② 小放汽排出的无机物的量 G_7'

$$G_7' = C_2' V_1' = 0.091 \times 63 \approx 6(\text{kg/t 风干浆})$$

③ 小放汽排出的总 Na_2O 的量 G_8'

$$G_8' = \frac{G_7'}{K} = \frac{6}{1.34} \approx 4 (\text{kg/t 风干浆})$$

5. 升温期物料平衡

【说明】见表 1-2-24。

(三) 保温过程的计算

表 1-2-24

升温期物料衡算表

(kg/t 风干浆)

		进			出				升温期末 锅内存留
		装锅	化学反应 应所得	总计	小放汽排出		化学反 应消耗	总计	
					蒸 汽	碱 液			
水		6319	—	6319	169	63	—	232	6087
有 机 物	木 材	1875	—	187.5	—	—	694	694	1181
	碱液中的溶解物	277	694	971	20	6	—	26	945
无 机 物		556	—	566	—	6	—	6	550
总 计		9027	694	9721	189	75	694	958	8763
其中:总 Na ₂ O		415	—	415	—	4	—	4	411

【说明】如图 1-2-5 所示,在保温期内,木材进一步溶解,直到得率为 50%。

1. 本期内木材物质溶出的数量 $G_{\text{溶}}$

$$G_{\text{溶}} = G_5 (63\% - 50\%) = 1875 (0.63 - 0.5) \\ = 244 (\text{kg/t 风干浆})$$

式中 63%——蒸煮达到最高温度时的得率

2. 保温期末锅内存留的物料量

水 $D_{\text{水}} = 6087 (\text{kg/t 风干浆})$

浆 $G_9' = 1181 - G_{\text{溶}} = 1181 - 244 = 937 (\text{kg/t 风干浆})$

式中 1181——升温末期锅内存留木材的有机物量(kg/t 风干浆),见表 1-2-24

黑液中的有机物 G_{10}' :

$$G_{10}' = 945 - G_{\text{溶}} = 945 - 244 = 1189 (\text{kg/t 风干浆})$$

式中 945——升温末期锅内存留的碱液中的有机物量(kg/t 风干浆),见表 1-2-24

无机物量 $G_{11}' = 550 (\text{kg})$

$$\text{锅内存留物料总量} = D_{\text{水}} + G_9' + G_{10}' + G_{11}' \\ = 8763 (\text{kg/t 风干浆})$$

锅内存留物料总量中含总 Na_2O 量 = 411(kg/t 风干浆)

(四) 大放汽的计算

1. 大放汽放出的蒸汽量计算

【说明】大放汽锅内压力由 735kPa(172℃)降到 490kPa(158℃)。按饱和蒸汽性质,液体热量从 728.5kJ/kg 降至 667.4kJ/kg。

① 由锅内液体温度下降放出的热量 Q_1

$$Q_1 = D_{\text{水}}(r_2 - r_1) \quad (1-2-40) \\ = 6087(728.5 - 667.4) = 372081 (\text{kJ})$$

② 浆料及溶解的有机物和无机物放出的热量 Q_2

【说明】浆料及溶解的有机物和无机物的比热均取 1.34kJ/(kg·℃)。温度由 172℃降至

158℃。

$$\begin{aligned} Q_2 &= (G_9' + G_{10}' + G_{11}')C_1(t_2 - t_1) \\ &= (937 + 1189 + 550) \times 1.34 \times (172 - 158) \\ &= 50191(\text{kJ}) \end{aligned} \quad (1-2-41)$$

③ 降压期总计放出热量 Q

$$Q = Q_1 + Q_2 = 372081 + 50191 = 422272(\text{kJ})$$

④ 大放汽期间平均压力 P

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{735 + 490}{2} = 612.5(\text{kPa})$$

查饱和蒸汽表得此压力的汽化潜热为 $r = 2056\text{kJ/kg}$ 。

⑤ 大放汽产生的蒸汽量 D

$$D = \frac{Q}{r} = \frac{422272}{2056} = 205(\text{kg})$$

2. 降压期木材溶解的量 G_{12}'

【说明】根据图 1-2-5, 本期得率由 50% 降至 48%, 木材溶解的数量为 G_{12}' 。

$$G_{12}' = 1875(50\% - 48\%) = 37.5(\text{kg})$$

式中 1875——木材装锅量(kg/t 风干浆), 见表 1-2-23

3. 大放汽排出的液量 V_4'

【说明】大放汽时, 随蒸汽排出的黑液约为锅内总液量的 2%。

$$V_4' = 6087 \times 2\% = 122(\text{L})$$

式中 6087——升温末期锅内存留水量(kg/t 风干浆) 见表 1-2-24

4. 大放汽排出的黑液中有机的量

① 降压终止时锅内的液量 V_5'

$$\begin{aligned} V_5' &= D_{\text{水}} - (D + V_4') \\ &= 6087 - (205 + 122) \\ &= 5760(\text{L}) \end{aligned} \quad (1-2-42)$$

② 本期锅内液体平均数量 $V_{\text{平}}'$

$$V_{\text{平}}' = \frac{D_{\text{水}} + V_5'}{2} = \frac{6087 + 5760}{2} = 5924(\text{L})$$

③ 放汽终止时锅内黑液中有机的量 G_{13}'

$$G_{13}' = 1189 + 37 = 1226(\text{kg})$$

式中 1189——蒸煮终止时锅内存留黑液中的溶解有机物量(kg/t 风干浆), 见表 1-2-25

37——化学反应消耗掉的浆料(kg/t 风干浆) 见表 1-2-25

④ 溶解的有机物平均数量 $G_{\text{平}}'$

$$G_{\text{平}}' = \frac{1189 + G_{13}'}{2} = \frac{1189 + 1226}{2} = 1208(\text{kg/t 风干浆})$$

⑤ 黑液中有机的平均浓度 C_3'

$$C_3' = \frac{G_{\text{平}}'}{V_{\text{平}}'} = \frac{1208}{5924} = 0.204(\text{kg/L})$$

⑥ 排出的黑液中有机的含量 G_{14}'

$$G_{14}' = C_3' \times 122 = 0.204 \times 122 = 25(\text{kg/t 风干浆})$$

式中 122——大放汽排出的黑液量(kg/t 风干浆), 见表 1-2-25

5. 大放汽排出的黑液中无机物的含量

① 大放汽期间黑液中无机物的平均浓度 C_4'

$$C_4' = \frac{550}{V_{\text{平}}} = \frac{550}{5924} = 0.093(\text{kg/L})$$

式中 550——蒸煮终止时锅内存留无机物量(kg/t 风干浆), 见表 1-2-25

② 排出的黑液中含无机物量 G_{15}'

$$G_{15}' = C_4' \times 122 = 0.093 \times 122 \\ = 11.3(\text{kg/t 风干浆})$$

③ 排出黑液中总 Na_2O 量 G_{16}'

$$G_{16}' = \frac{G_{15}'}{K} = \frac{11.3}{1.35} = 8.5(\text{kg/t 风干浆})$$

6. 大放汽物料平衡表

【说明】见表 1-2-25。

表 1-2-25

大放汽物料平衡表

(kg/t 风干浆)

		进			出			放汽后 锅内存 留 量	
		蒸煮终 止时锅 内 存 留 量	化学反 应所得	总 计	大放汽排出		化学反 应消耗		总 计
					蒸 汽	黑 液			
水		6087	—	6087	205	122	—	327	5760
有 机 物	浆 料	937	—	937	—	—	37	37	900
	黑液中的溶解物	1189	37	1226	—	25	—	25	1201
无 机 物		550	—	550	—	11	—	11	539
总 计		8763	37	8800	205	158	37	400	8400
其中:总 Na ₂ O		411	—	411	—	9	—	9	402

(五)放锅的工艺计算

1. 放锅产生的蒸汽量

【说明】放锅时, 锅内压力由 490kPa(158℃)降至常压(100℃), 液体的热焓从 667.38 kJ/kg 降至 414.91kJ/kg。

① 由液体放出的热量 Q_3

$$Q_3 = 5760(667.38 - 414.91) \\ = 1454193(\text{kJ})$$

式中 5760——放汽后锅内存留液体量(kg/t 风干浆)见表 1-2-25

② 由浆料及黑液中的固形物放出的热量 Q_1

$$Q_1 = G_{\text{黑液}} C(t_2 - t_1) \quad (1-2-43) \\ = (900 + 1201 + 539) \times 1.34 \times (158 - 100) \\ = 205153(\text{kJ})$$

式中 $G_{\text{黑液}}$ ——放汽后锅内存留的浆料、溶解物及无机物的量(kg/t 风干浆), 见表 1-2-25。

③ 总计放出热量 Q_{Σ}

$$Q_{\Sigma} = Q_3 + Q_1 = 1454193 + 205153 = 1659345(\text{kJ})$$

④ 放锅期间平均压力 P

$$P = \frac{490+0}{2} = 245(\text{kPa})$$

此压力下的汽化潜热为 2154kJ/kg。

⑤ 放锅产生蒸汽量 D

$$D = \frac{Q_g}{r} = \frac{1659345}{2154} = 770(\text{kg})$$

2. 放锅时由锅内放出的物料量(按 1t 风干浆计)

水: $5760 - 770 = 4990(\text{kg})$

蒸汽: 770kg

浆料: 900kg

黑液中的有机物: 1201kg

无机物: 539kg

总计: 8400kg

其中总 Na_2O : 402kg

(六) 黑液与浆料的计算

1. 黑液的固形物含量及其组成计算

① 黑液的固形物含量 $G_{\text{固}}$

$$G_{\text{固}} = \frac{1201+539}{4990} \times 1000 = 349(\text{g/L})$$

从表查出与此相应的浓度为 20.2°Bé(15℃)。

② 黑液中固形物组成

$$\text{有机物} = \frac{1201}{1201+539} \times 100\% = 69\%$$

$$\text{无机物} = \frac{539}{1201+539} \times 100\% = 31\%$$

2. 送洗选工程的浆料中含有的物质(以每吨风干浆计算)

① 放锅黑液损失量 $G_{\text{损}}$

【说明】取放锅时流往冷凝器的黑液损失率为 1.5%。

$$G_{\text{损}} = 4990 \times 1.5 = 75(\text{L})$$

② 放锅固形物损失 $G_{\text{固损}}$

$$G_{\text{固损}} = G_{\text{损}} G_{\text{固}} = 75 \times \frac{349}{1000} = 26(\text{kg})$$

其中: 有机物 = $26 \times 69\% = 18(\text{kg})$ 无机物 = $26 \times 31\% = 8(\text{kg})$

$$\text{无机物中 } \text{Na}_2\text{O} = \frac{8}{1.34} = 6(\text{kg})$$

③ 送往洗涤的浆料中含有的物质水(黑液中): $4990 - 75 = 4915(\text{kg})$

绝干浆: 900kg 黑液中的有机物: $1201 - 18 = 1183(\text{kg})$

黑液中的无机物: $539 - 8 = 531(\text{kg})$

总计: 7529kg 其中 Na_2O : $402 - 6 = 396(\text{kg})$

④ 黑液的固形物中 Na_2O 含量

$$G = \frac{396}{1183+531} \times 100\% = 23\%$$

(七) 蒸煮过程总物料平衡

【说明】见表 1-2-26。

表 1-2-26

总物料平衡表

(kg/t 风干浆)

	进					出						
	木片	白液	黑液	化学 反应	总 计	放 汽		化学反 应消耗	放 锅		在喷放 锅内存留	总计
						蒸汽	液体		蒸汽	液体		
水或蒸汽	1250	2910	2159	—	6319	374	185	—	770	75	4915	6319
木材或浆料	1875	—	—	—	1875	—	—	975	—	—	900	1875
有机物	气体及挥发物	—	—	20	20	20	—	—	—	—	—	20
	溶 解 物	—	—	277	955	—	31	—	—	18	1183	1232
无 机 物	—	438	118	—	556	—	17	—	—	8	531	556
总 计	3125	3348	2554	975	10002	394	233	975	770	101	7529	10002
其中 Na ₂ O	—	327	88	—	415	—	13	—	—	6	396	415

三、蒸汽装锅器用汽量的计算

【例】已知条件:

木材相对密度 ρ : 0.43木片水分 W : 40%木片初温 t_1 : 10℃木材比热 c : 1.34kJ/(kg·℃)装锅蒸汽压力 P : 294kPa装锅后木片温度 t_2 : 90℃(一)每米³实积木片的绝干重量 G_1

【说明】当木片水分超过 30%时,木材体积为绝干时体积的 110.5%。

$$G_1 = \frac{\rho \times 1000}{1.105} = \frac{0.43 \times 1000}{1.105} = 389(\text{kg})$$

(二)加热每米³实积木片所需热量 Q_1 1. 加热绝干木片所需热量 Q_2

$$Q_2 = G_1 C (t_2 - t_1) = 389 \times 1.34 \times (90 - 10) = 41700(\text{kJ})$$

2. 加热木片中的水分所需热量 Q_3

$$Q_3 = G_1 \left(\frac{W}{1-W} \right) C_{\text{水}} (t_2 - t_1) \quad (1-2-44)$$

$$= 389 \times \frac{40\%}{1-40\%} \times 4.1868 \times (90 - 10)$$

$$= 86859(\text{kJ})$$

3. 加热每米³木片所需热量 Q_1

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$= 41700 + 86859 = 128559(\text{kJ})$$

(三)蒸汽耗用量 D 的计算【说明】取装锅速度为 2m³(实积木片)/min(V),蒸汽热效率为 70%(η),压力为 294kPa 的蒸汽,绝热膨胀后的热焓(r)为 2512kJ/kg。

【公式及计算】

$$D = \frac{VQ_1}{r\eta} = \frac{2 \times 128559}{2512 \times 70\%} = 146.2 (\text{kg/min}) \quad (1-2-45)$$

四、蒸煮热回收工艺计算

(一)放锅热回收计算

【例】已知条件(按蒸煮物料衡算条件):

每锅风干浆产量 G_1 : 10.88t/锅

放锅时放出的蒸汽量 D_1 : 770Kg/t 风干浆

放锅时间 T_1 : 20min

蒸煮周期 T_2 : 5h

蒸煮锅台数 n : 4

蒸煮锅锅容 V_1 : 125m³

热冷凝液温度 t_2 : 90℃

循环冷却水温度 t_1 : 40℃

冷凝器内蒸汽压力 P_1 : 19.6kPa

污热水换热器的清水温度: 入口 t_3 : 10℃

出口 t_4 : 70℃

1. 喷射冷凝器需要的冷却水量 D

【说明】单位时间内应被冷凝的蒸汽量为放锅时放出的蒸汽量加上吹放锅管路所用的蒸汽量, 取其值为放锅蒸汽的 10%(A)。

① 应冷凝的平均蒸汽量 D_2

$$D_2 = \frac{D_1 G_1}{T_1} (1 + A) \quad (1-2-46)$$

$$= \frac{770 \times 10.88}{20} (1 + 10\%) = 460 (\text{kg/min})$$

② 最大蒸汽量 $D_{\text{最大}}$

【说明】取最大蒸汽量为平均量的 1.4 倍。

【公式及计算】

$$D_{\text{最大}} = 1.4 D_2 \quad (1-2-47)$$

$$= 1.4 \times 460 = 650 (\text{kg/min})$$

③ 冷却水需要量 D

【说明】查饱和蒸汽表得, 压力 P_1 为 19.6kPa 的蒸汽温度为 104.2℃, 热焓 r_1 为 2684.2kJ/kg。

【公式及计算】

$$D = \frac{D_{\text{最大}} (r_1 - C_{\text{水}} t_2)}{(t_2 - t_1) C_{\text{水}}} \quad (1-2-48)$$

$$= \frac{650 \times (2684.2 - 4.1868 \times 90)}{(90 - 40) \times 4.1868}$$

$$= 7164 (\text{kg/min})$$

2. 污热水槽的容积 V 及贮备时间 T_3

① 四个锅平均每小时的放锅蒸汽量 D_3

$$D_3 = \frac{D_1 G_1 n}{T_2} \quad (1-2-49)$$

$$= \frac{770 \times 10.88 \times 4}{5} = 7370 (\text{kg/h})$$

② 冷却水的需要量 D_4

$$D_4 = \frac{D_3(r_1 - C_{\text{水}} t_2)}{C_{\text{水}}(t_2 - t_1)} = \frac{7370(2684 - 376.8)}{4.1868(90 - 40)}$$

$$= 81227 (\text{kg/h})$$

③ 污热水量 D_5

$$D_5 = D_3 + D_4 = 7370 + 81227 = 88597 (\text{kg/h})$$

④ 污热水槽的有效容积 V

【说明】取污热水槽的容量 V_p 为 $2\text{m}^3/\text{m}^3$ 锅容。

【公式及计算】

$$V = V_p V_1 \quad (1-2-50)$$

$$= 2 \times 125 = 250 (\text{m}^3)$$

⑤ 贮备时间 T_3

【公式及计算】

$$T_3 = \frac{V}{D_5} \quad (1-2-51)$$

$$= \frac{250}{88597} \times 1000 = 2.82 (\text{h})$$

3. 污热水换热器所需面积 F

① 在换热器内, 污热水传给清水的热量 Q_1

【公式及计算】

$$Q_1 = D_4 C_{\text{水}}(t_2 - t_1) = 81227 \times 4.1868(90 - 40)$$

$$= 17004060 (\text{kJ/h})$$

② 当换热器为逆流时, 温度平均差 Δt

【公式及计算】

$$\Delta t = \frac{(t_2 - t_4) + (t_1 - t_3)}{2} \quad (1-2-52)$$

$$= \frac{(90 - 70) + (40 - 10)}{2} = 25 (^\circ\text{C})$$

③ 换热器所需面积 F

【说明】对换热器的传热系数 K [$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$] 板式可取 8373.6; 螺旋式可取 6280~8164; 管式取 4186.8~5652。在此取 6280。

【公式及计算】

$$F = \frac{Q_1}{K \Delta t} \quad (1-2-53)$$

$$= \frac{17004060}{6280 \times 25} = 108 (\text{m}^2)$$

④ 每日每吨风干浆传热面积 F_1

每日产浆量 G_2 :

$$G_2 = \frac{24}{T_2} n G_1 \quad (1-2-54)$$

$$= \frac{24}{5} \times 4 \times 10.88 = 209 (\text{t/d})$$

每日每吨风干浆传热面积 F_1 :

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{F}{G_2} \\ &= \frac{108}{209} \\ &= 0.52 [\text{m}^2 / (\text{d} \cdot \text{t 风干浆})] \end{aligned} \quad (1-2-55)$$

⑤ 每米³锅容传热面积 F_2

4台蒸煮锅的总容积 $V_{\text{总}} = 4 \times 125 = 500 (\text{m}^3)$

每米³锅容传热面积 F_3

$$F_3 = \frac{F}{V_{\text{总}}} = \frac{108}{500} = 0.22 (\text{m}^2 / \text{m}^3 \text{锅容})$$

4. 放锅热回收可得到的清洁热量 W

① 每小时可得清洁热量 W_1

【公式及计算】

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{Q_1}{C_{\text{水}}(t_4 - t_3)} \\ &= \frac{17004060}{4.1868(70-10)} = 67700 (\text{L/h}) \end{aligned} \quad (1-2-56)$$

② 每吨浆所得清洁热量 W_2

【公式及计算】

$$W_2 = \frac{W_1}{G_2} = \frac{67700}{209} \times 24 = 7770 (\text{L/t 风干浆})$$

(二) 大、小放汽热回收计算

【例】已知条件(按蒸煮物料衡算为依据):

小放汽: 起止温度($^{\circ}\text{C}$): 120~172

延续时间(h): 1.0

放出的蒸汽量 $D_{\text{小}} (\text{kg/t 风干浆})$: 169

大放汽: 起止温度($^{\circ}\text{C}$): 172~158

延续时间(小时): 0.5

放出的蒸汽量 $D_{\text{大}} (\text{kg/t 风干浆})$: 205

冷凝液在冷凝器内冷却到 60°C (t)

冷却水温度由 10°C (t_1) 加热到 70°C (t_2)

按两个锅同时进行小放汽和大放汽来计算。

1. 大、小放汽在冷凝时的总放热量 Q_3

① 小放汽放出蒸汽量 D_6

$$D_6 = 169G_1 = 169 \times 10.88 = 1838 (\text{kg/h})$$

② 小放汽平均温度 $t_{\text{小}}$

$$t_{\text{小}} = \frac{120+172}{2} = 146 (^{\circ}\text{C})$$

③ 大放汽放出蒸汽量 D_7

$$D_7 = \frac{205G_1}{0.5} = \frac{205 \times 10.88}{0.5} = 4460 (\text{kg/h})$$

④平均温度 $t_{\text{大}}$

$$t_{\text{大}} = \frac{172 + 158}{2} = 165(^{\circ}\text{C})$$

⑤ 进入冷凝器的最大蒸汽量 $D_{\text{最大}}$

【公式及计算】

$$\begin{aligned} D_{\text{最大}} &= n(D_6 + D_7) \\ &= 2(1838 + 4460) = 12600(\text{kg/h}) \end{aligned} \quad (1-2-57)$$

⑥ 按量均规律计算出蒸汽的平均温度 $t_{\text{平}}$

【公式及计算】

$$\begin{aligned} t_{\text{平}} &= \frac{t_{\text{小}} D_6 + t_{\text{大}} D_7}{D_6 + D_7} \\ &= \frac{146 \times 1838 + 165 \times 4460}{1838 + 4460} \\ &= 159(^{\circ}\text{C}) \end{aligned} \quad (1-2-58)$$

查饱和蒸汽表得：温度为159℃的饱和蒸汽的热焓为(r_2)2762kJ/kg,液体热量为(r_1)672kJ/kg。

⑦ 蒸汽冷凝时放出的热量 Q_1

【公式及计算】

$$\begin{aligned} Q_1 &= D_{\text{最大}}(r_2 - r_1) \\ &= 12600(2762 - 672) = 26334000(\text{kJ/h}) \end{aligned}$$

⑧ 冷凝液冷却时放出的热量 Q_2

【公式及计算】

$$\begin{aligned} Q_2 &= D_{\text{最大}}(r_1 - C_{\text{水}} t) \\ &= 12600(672 - 4.1868 \times 60) \\ &= 5304600(\text{kJ/h}) \end{aligned} \quad (1-2-59)$$

⑨ 总放热量计算 $Q_{\text{总}}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{总}} &= Q_1 + Q_2 = 26334000 + 5304600 \\ &= 31638600(\text{kJ/h}) \end{aligned}$$

2. 冷却水耗用量 W

① 每小时最大用水量 $W_{\text{最大}}$

【公式及计算】

$$W_{\text{最大}} = \frac{Q_{\text{总}}}{C_{\text{水}}(t_2 - t_1)} = \frac{31638600}{4.1868(70 - 10)} = 125900(\text{kg/h})$$

② 每吨浆冷却水的平均用量 $W_{\text{平}}$

【公式及计算】

$$\begin{aligned} W_{\text{平}} &= \frac{(D_{\text{小}} + D_{\text{大}})(r_2 - C_{\text{水}} t)}{C_{\text{水}}(t_2 - t_1)} \\ &= \frac{(169 + 205)(2762 - 4.1868 \times 60)}{4.1868(70 - 10)} \\ &= 3738(\text{kg/t 风干浆}) \end{aligned} \quad (1-2-60)$$

3. 冷凝器所需的传热面积 F

① 当蒸汽全部冷却为冷凝液时,冷却水的温度 t_3

【公式及计算】

$$\begin{aligned}
 t_3 &= t_1 + \frac{Q_2}{W_{\text{最大}} C_{\text{水}}} \\
 &= 10 + \frac{5304600}{125900 \times 4.1868} \\
 &= 20.1(^{\circ}\text{C})
 \end{aligned}
 \tag{1-2-61}$$

② 冷却冷凝液期间的温度对数平均值 $t_{\text{平}}'$

【公式及计算】

$$\begin{aligned}
 t_{\text{平}}' &= \frac{(t_{\text{平}} - t_3) - (t - t_1)}{2.3 \lg \frac{t_{\text{平}} - t_3}{t - t_1}} \\
 &= \frac{(159 - 20.1) - (60 - 10)}{2.3 \lg \frac{159 - 20.1}{60 - 10}} = 87(^{\circ}\text{C})
 \end{aligned}
 \tag{1-2-62}$$

③ 冷却期间的温度平均差 t_4

【公式及计算】

$$\begin{aligned}
 t_4 &= \frac{(t_{\text{平}} - t_2) + (t_{\text{平}} - t_3)}{2} \\
 &= \frac{(159 - 70) + (159 - 20.1)}{2} \\
 &= 114(^{\circ}\text{C})
 \end{aligned}
 \tag{1-2-63}$$

④ 所需传热面积 F

冷凝蒸汽时所需传热面积 F_1

【说明】取传热系数 $K = 6280 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

【公式及计算】

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \frac{Q_1}{K_1 t_4} \\
 &= \frac{26334000}{6280 \times 114} \\
 &= 36.8(\text{m}^2)
 \end{aligned}
 \tag{1-2-64}$$

冷却冷凝液时所需传热面积 F_2

【说明】取传热系数 $K = 4186.8 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$

【公式及计算】

$$\begin{aligned}
 F_2 &= \frac{Q_2}{K_2 t_{\text{平}}'} \\
 &= \frac{5304600}{4186.8 \times 87} \\
 &= 14.6(\text{m}^2)
 \end{aligned}
 \tag{1-2-65}$$

总传热面积 $F_{\text{总}}$

$$F_{\text{总}} = F_1 + F_2 = 36.8 + 14.6 = 51.4(\text{m}^2)$$

4. 冷凝器的单位传热面积计算

① 每日每吨风干浆传热面积 F_3

$$F_3 = \frac{F_{\text{总}}}{G_2} = \frac{51.4}{209} = 0.246(\text{m}^2/(\text{d} \cdot \text{t 风干浆}))$$

② 每米³锅容传热面积 F_4

$$F_4 = \frac{F_{\text{总}}}{V_{\text{总}}} = \frac{51.4}{500} = 0.103(\text{m}^2/\text{m}^3 \text{锅容})$$

第五节 蒸煮器的计算

一、蒸煮器的生产能力计算

【公式】

$$Q = \frac{24aV}{b} \quad (1-2-66)$$

$$a = \frac{a\beta}{90\%} \quad (1-2-67)$$

式中 Q —— 蒸煮器的生产能力[kg 风干浆(锅·d)]

V —— 锅(或球)容(m^3)

a —— 单位容积产浆量(kg 风干浆/ m^3)

a —— 单位容积装锅(球)量(kg 绝干原料/ m^3) 蒸球单位容积装球量见表1-2-27; 立式蒸煮锅单位容积装锅量见表1-2-28

β —— 纸浆得率(%)

b —— 蒸煮周期(h)

二、蒸煮器保温层的最佳厚度估算

(一) 计算法

【说明】蒸煮器的保温层厚度的计算, 可根据蒸煮器蒸煮时的热平衡进行。在此, 介绍一种根据保温层费用来估算保温层厚度的方法。

表1-2-27

蒸球单位容积装球量

原料品种	装锅量 (kg 绝干料片/ m^3 锅容)	原料品种	装锅量 (kg 绝干料片/ m^3 锅容)
红 松	150~155	稻 草	120~150
脱青竹	140~155	麦 秆	120~150
龙须草	150~160	破 布	150~170
荻	140	鞋 底	200~230
蔗 渣	90~100	旧鱼网	186~206
棉 秆	200		

表1-2-28

立式蒸煮锅单位容积装锅量

原料品种	装锅量 (kg 绝干料片/ m^3 锅容)	原料品种	装锅量 (kg 绝干料片/ m^3 锅容)
红 松	150~190	芦 苇	140
白 松	150~190	蔗 渣	100
马尾松	150~160	楠 竹	180~200

【公式】

$$F = a + 1.86t \quad (1-2-68)$$

$$E = b + \frac{13}{t^2} \quad (1-2-69)$$

$$C = F + E \quad (1-2-70)$$

式中 F —— 蒸发器保温层的固定费用 (min/h)

E —— 热能损失价格 (min/h)

C —— 保温层厚度总费用 (min/h)

a, b —— 常数

t —— 保温层厚度 (in)

【例】对于某蒸发器，其保温层固定费用和热能损失价格均遵循上述规律，若蒸发器每年使用8500h，问保温层的最佳厚度为多少？

解：操作时间不是重要因素，可写出一个用保温层厚度表示的总费用 C 的公式，将 C 对厚度微分，令导数等于0，即可解出最佳保温层厚度 t 。

即 $C = F + E$

$$dc = (dF + dE)dt$$

$$\frac{dc}{dt} = 1.86 - \frac{2 \times 13}{t^3}$$

$$\therefore \frac{dc}{dt} = 0$$

$$\therefore \frac{26}{t^3} = 1.86$$

$$t^3 = 13.98$$

$$t = 2.40(\text{in})$$

$$= 2.40 \times 0.0254 = 0.061(\text{m})$$

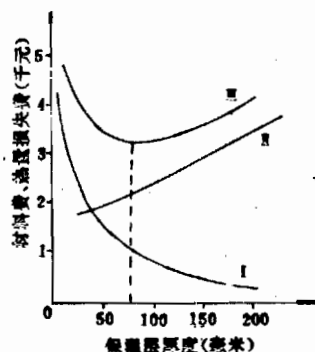


图1-2-6 图解法求保温层厚度

(二)图解法

【说明】在采用保温材料对蒸发器进行保温时，增加保温材料的厚度可减少热量损失，但所用保温材料愈多，投资费用愈大。所以对保温材料厚度的选取应做全面考虑，使其热量损失费和投资费之和为最小。可采取图解法进行求算。即画出保温层在不同厚度下由于热量的损失费用曲线 I；保温层在不同厚度下的投资费用曲线 II，将曲线 I 和 II 叠加，得总损失费用曲线 III，曲线 III 上必然存在一个最低点 C，此点在横坐标轴上的位置即为保温层的最佳经济厚度，见图1-2-6。

三、蒸球的工艺计算

(一)蒸球容积和台数的选定计算

【公式】

$$V = \frac{G}{K} = \frac{GT}{24G_1} \quad (1-2-71)$$

$$\text{或 } V = \frac{GT}{24\alpha\beta} \quad (1-2-72)$$

$$\text{或 } V = \frac{GT}{24\alpha\gamma} \quad (1-2-73)$$

$$n = \frac{V}{V_1}$$

式中 V —— 所需蒸球总容积(m^3)

G —— 粗浆日产量(kg 绝干浆/ d)

K —— 蒸煮系数 [kg 绝干浆/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d})$]

$$K = \frac{24}{T} G_1 \quad (1-2-74)$$

T —— 蒸煮周期(h)

G_1 —— 蒸球单位容积粗浆产量(kg 绝干浆/ m^3)

$$G' = \alpha\beta \quad (1-2-75)$$

α, β —— 含义及单位均见式1-2-67

G' —— 细浆日产量(kg 绝干浆/ d)

γ —— 成浆率($\%$)

n —— 蒸球台数

V_1 —— 单台蒸球容积(m^3)

【例1】要求蒸煮车间的粗浆日产量达到6t(绝干草浆),选定蒸球单位容积装料量(绝干草片)为90 kg/m^3 ,粗浆收获率为55%,蒸煮周期为7h,试确定选用的蒸球容积和台数。

解法一:

蒸球单位容积粗浆产量 G_1

$$G_1 = \alpha\beta = 90 \times 55\% = 49.5 (\text{kg 绝干浆}/\text{m}^3);$$

蒸煮系数 K

$$K = \frac{24}{T} G_1 = \frac{24}{7} \times 49.5 = 170 (\text{kg 绝干浆}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}))$$

所需蒸球总容积 V

$$V = \frac{G}{K} = \frac{6 \times 1000}{170} \approx 35 (\text{m}^3)$$

可选用25 m^3 和14 m^3 蒸球各一台,或选用40 m^3 蒸球一台,即可满足生产要求。

解法二:

根据式1-2-72得:

$$V = \frac{GT}{24\alpha\beta} = \frac{6 \times 1000 \times 7}{24 \times 90 \times 55\%} = 35 (\text{m}^3)$$

【例2】某厂日产25t 风干漂白硫酸盐麦草浆,考虑到今后原料品种可能有所变更,决定采用蒸球蒸煮。按装球量150 kg 绝干草片/ m^3 (经予浸渍),全程总蒸煮时间为4h,每天运行24h计,纤维粗浆收获率为47%,成浆率为38%,确定蒸球的容积和个数。

解法一:

$$\text{细浆收获率} = \frac{0.38}{0.47} \times 100\% = 81\%$$

$$\begin{aligned} \text{每天需生产绝干粗浆量} &= \frac{25 \times 1000}{81\%} \times (1 - 10\%) \\ &= 27777.78 (\text{kg}/\text{d}) \end{aligned}$$

$$\text{需用蒸球的总容积} = \frac{27777.78 \times 4}{150 \times 0.47 \times 24} \approx 66 (\text{m}^3)$$

如选用25 m^3 蒸球3台,总容积为75 m^3 ,富裕量为13%;如选用40 m^3 蒸球两台,总容积为80 m^3 ,富裕量为21%,为此,可视具体情况,进行方案比较后确定,如今后有扩建可能,一

般宜采用后者。

解法二:

根据式1-2-73得:

$$V = \frac{G'T}{24\alpha\gamma} = \frac{25 \times 1000 \times 0.9 \times 4}{24 \times 150 \times 38\%} = 66(\text{m}^3)$$

蒸球的选择同解法一。

(二) 蒸球转速的计算

【公式】

$$n = \frac{V_{\text{最大}}}{\pi D} \quad (1-2-76)$$

式中 n —— 蒸球的转速(r/min)

$V_{\text{最大}}$ —— 蒸球的最大圆周速度,一般取5.0~5.6m/min

D —— 蒸球的外径(m)

(三) 蒸球所需电机功率的计算

【说明】蒸球所需功率包括蒸球运转需要的功率和蒸球启动功率。前者主要消耗于克服轴承摩擦阻力,后者除前者动力消耗外,还消耗于克服蒸球从静止到转动的惯性力。所以蒸球配用电机功率需满足启动功率的要求。

1. 克服蒸球惯性力所需功率计算 N_1

【公式】

$$N_1 = \frac{GR^2\omega^2}{5 \times 102gt} \approx \frac{GR^2\omega^2}{5000t}(\text{kW}) \quad (1-2-77)$$

式中 N_1 —— 克服蒸球惯性力所需功率(kW)

G —— 蒸球本身(包括球体、轴头、蜗轮及保温层等)和其中物料的重量(kg)

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

R —— 蒸球半径(m)

ω —— 蒸球转动的角速度(1/s)

t —— 起动时间(s),通常为2~4s

2. 蒸球运转所需功率计算 N_2

【公式】

$$N_2 = \frac{G\mu V}{102} \quad (1-2-78)$$

式中 N_2 —— 蒸球运转所需功率(kW)

μ —— 轴颈与轴承的摩擦系数,通常取0.18~0.25

V —— 轴颈线速度(m/s)

3. 蒸球配用电机功率计算 N

【公式】

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta}(\text{kW}) \quad (1-2-79)$$

式中 η —— 总传动效率,依所选用传动装置而定,采用蜗轮传动时为0.2~0.3

N_1, N_2 —— 含义及单位同前

(四) 蒸球的热平衡及节能计算与实例

1. 40m³蒸球无保温结构热量损失计算

【例】已知：40m³蒸球，外径 $D = 4.34\text{m}$ ，蒸球壁厚 $\delta_1 = 0.02\text{m}$ 。设在蒸煮物料时，内部绝对压力 $P = 0.617\text{MPa}$ ，相应蒸球内蒸煮温度 $t = 160^\circ\text{C}$ 。试计算蒸煮过程中热量的损失 Q 。

【公式及计算】 $Q = K(t - t_i)FZ$ (1-2-80)

式中 Q —— 热量损失[kJ/球·d]

K —— 传热系数[kJ/(m²·h·°C)]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1-2-81)$$

α_1 —— 物料对蒸球内壁的给热系数[kJ/(m²·h·°C)]，取 $\alpha_1 = 20934\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$

δ_1 —— 蒸球壁厚(mm)， $\delta_1 = 0.02\text{m}$

λ_1 —— 钢板的导热系数[kJ/(m·h·°C)]，取 $\lambda_1 = 24.34\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$

α_2 —— 蒸球外表面对周围空间的给热系数，包括对流和辐射放热系数[kJ/(m²·h·°C)]

$$\alpha_2 = \alpha_d + \alpha_f \quad (1-2-82)$$

α_d —— 对流放热系数[kJ/(m²·h·°C)]

$$\alpha_d = 2.2 \sqrt{t_b - t_i} \quad (1-2-83)$$

α_f —— 辐射放热系数[kJ/(m²·h·°C)]

t_b —— 蒸球表面壁温(°C)，取 $t_b = 155^\circ\text{C}$

t_i —— 室内温度(°C)，取平均室内温度， $t_i = 25^\circ\text{C}$

Z —— 蒸煮时间(h)，取日工作时间为17h。

t —— 蒸煮温度(°C)，取 $t = 160^\circ\text{C}$

F —— 蒸球表面面积(m²)

$$F = \pi D^2 = 3.14 \times 4.34^2 = 59.17(\text{m}^2)$$

蒸球表面向周围空间辐射的热量 q_f ，

$$q_f = C_1 \left[\left(\frac{T_b}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right] \Phi F \quad (1-2-84)$$

式中 q_f —— 辐射热量(kJ/h)

C_1 —— 辐射系数

T_b —— 蒸球壁温(K)

T_i —— 周围介质温度(K)，取室温

Φ —— 辐射传热角系数，取 $\Phi = 1$

$$\therefore q_f = C_1 \frac{\left[\left(\frac{T_b}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right]}{t_b - t_i} F(t_b - t_i)$$

$$\text{得 } \alpha_f = C_1 \frac{\left[\left(\frac{T_b}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right]}{t_b - t_i}$$

$$= C_1 \frac{\left(\frac{t_b + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_i + 273}{100}\right)^4}{t_b - t_i} \quad (1-2-85)$$

$$C_1 = \frac{C_0}{\frac{1}{A_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{A_2} - 1\right)} \quad (1-2-86)$$

式中 A_1 ——球壳吸收率即钢板的吸收率,取0.8

A_2 ——周围墙壁的吸收率,取平均值: $A_2 = \frac{0.93 + 0.9}{2} = 0.915$

F_1 ——周围墙壁的表面积(m^2)

我们研究的情况是 $F_2 \gg F_1$, 故 $\frac{F_1}{F_2}$ 很小, 而 $\left(\frac{1}{A_2} - 1\right)$ 也很小, 故 $\frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{A_2} - 1\right)$ 可忽略不计。因此得:

$$C_1 = C_0 A_1 \quad (1-2-87)$$

式中 C_0 ——常数, 黑体的辐射系数, $C_0 = 20.77 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}^4)$

综合以上式1-2-82、1-2-85、1-2-86、1-2-87并解之得:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 2.2 \sqrt{t_b - t_i} + C_0 A_1 \frac{\left(\frac{t_b + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_i + 273}{100}\right)^4}{t_b - t_i} \\ &= 63.64 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C})] \end{aligned} \quad (1-2-88)$$

将 α_2 代入式1-2-81得

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{20934} + \frac{0.02}{24.34} + \frac{1}{15.2}} = 63.64 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C})]$$

由式1-2-80得:

$$\begin{aligned} Q &= K(t - t_i)FZ \\ &= 63.64(160 - 25) \times 59.17 \times 17 \\ &= 8528093 [\text{kJ}/(\text{球} \cdot \text{d})] \end{aligned}$$

2.40 m^3 蒸球安装保温层后热量损失计算。

【例】已知蒸球的保温结构如图1-2-6所示, 保温材料采用容重轻、绝热性能好的岩棉缝毡, 其容重为 $100 \text{kg}/\text{m}^3$, 在工作温度下其导热系数 $\lambda_2 = 0.2093 \text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{C})$, 保温材料厚度 $\delta_2 = 0.08 \text{m}$, 金属薄板厚度 $\delta_3 = 0.00075 \sim 0.0015 \text{m}$, 取0.00075m。求热量损失。

【说明】(1)A处为联接板搭接处, 涂环氧树脂。(2)安装完毕, 保温板表面涂耐高温防腐油漆。

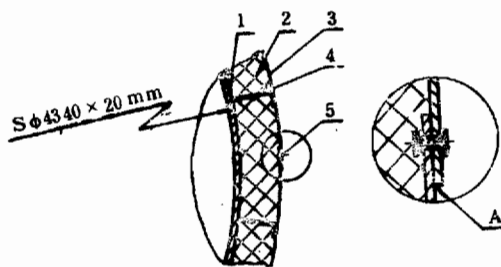


图1-2-7 蒸球保温结构

1—球壳 2—保温材料 3—金属保护板(厚度 $\delta = 0.75 \sim 1.5 \text{mm}$) 4—钩钉 5—铆钉

【公式及计算】

根据经验公式:

$$\alpha_2 = 8.1 + 0.045(t'_b - t_i) \quad (1-2-89)$$

式中 α_2 —— 安装保温层后, 蒸球外壳壁面联合放热系数 [$\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]

t_b —— 保温层表面温度 ($^\circ\text{C}$), 取 40°C

t_i —— 室内温度 ($^\circ\text{C}$), 取 25°C

$$\begin{aligned} \text{则: } \alpha_2 &= 8.1 + 0.045(40 - 25) \\ &= 8.775 [\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})] \\ &= 36.74 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K' &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1-2-90) \\ &= \frac{1}{\frac{1}{20.934} + \frac{0.02}{34.09} + \frac{0.08}{0.2093} + \frac{0.00075}{34.09} + \frac{1}{36.74}} \\ &= 2.44 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})] \end{aligned}$$

计算热流量:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\Delta t}{\Sigma Ri} = K' \Delta t = (t_b - t_i) \alpha_2 \quad (1-2-91) \\ &= 2.44 \times (160 - 25) \\ &= 329.50 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \end{aligned}$$

式中 Δt —— 温度差 ($^\circ\text{C}$)

ΣRi —— 热阻和 [$(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})/\text{kJ}$]

$$\begin{aligned} t_b &= t_i + \frac{q}{\alpha_2} \quad (1-2-92) \\ &= 25 + \frac{329.50}{36.74} = 34 (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

由此可知, 我们开始假设的保温层表面温度数值偏大, 可以在 $34 \sim 40^\circ\text{C}$ 范围内取其平均值作第二次假设的表面温度, 重新计算, 直至假设的表面温度与计算出的温度接近时为止。但是, 对于我们的计算无须这样精确, 不妨我们取 $t_b = 38^\circ\text{C}$, K' 仍以 2.44 进行热损失计算 (即以保温效果较差值计算, 因为我们选金属薄板厚度 δ_3 取了最小值), 则计算如下:

蒸球球盖处和轴头外面是不保温的, 则其热量损失为:

$$Q' = K \Delta t F_1' Z \quad (1-2-93)$$

$$F_1' \approx 2 \times \frac{\pi d^2}{4} + Lb \quad (1-2-94)$$

式中 d —— 轴头处未保温的直径 (m), 取 1.2m

L —— 球盖长, $L = 1.15\text{m}$

b —— 球盖宽, $b = 0.8\text{m}$

$$\text{则: } F_1' \approx 2.26 + 0.92 = 3.18 (\text{m}^2)$$

保温层实际表面面积 F_2' 为:

$$\begin{aligned} F_2' &= \pi(4.34 + 2 \times 0.08)^2 - F_1' \\ &= 60.4 (\text{m}^2) \end{aligned}$$

保温层表面的散热量 Q_2' 为:

$$Q_2' = K' F_2' \Delta t Z$$

(1-2-95)

所以,保温结构安装后总散热量 Q' 为:

$$\begin{aligned} Q' &= Q_1' + Q_2' \\ &= K \Delta t F_1' Z + K' \Delta t F_2' Z \\ &= (K F_1' + K' F_2') Z \Delta t \\ &= (63.64 \times 3.18 + 2.44 \times 60.4) \times 17 \times (160 - 25) \\ &= 7.97 \times 10^5 [\text{kJ}/(\text{球} \cdot \text{d})] \end{aligned}$$

3. 40m³蒸球节能效果计算

【说明】由【例1】和【例2】的计算可知,安装保温结构后每天每球节约热量为:

$$\begin{aligned} Q - Q' &= 8528093 - 796685 \\ &= 7731408 [\text{kJ}/(\text{d} \cdot \text{球})] \end{aligned}$$

安装保温层后,节省的热量占无保温结构时散失热量的百分比为:

$$\frac{Q - Q'}{Q} \times 100\% = \frac{7731408}{8528093} \times 100\% = 90.6\%$$

取标准煤的发热量为29307.6kJ/kg,锅炉的热效率为65%,则每台蒸球每天可节约标准煤为:

$$\frac{Q - Q'}{29307.6 \times 0.65} = \frac{7731408}{29307.6 \times 0.65} = 405.8 (\text{kg})$$

若一年按300d计算,则每台40m³蒸球年节约标准煤为:

$$405.8 \times 300 = 121740 (\text{kg}) = 121.74 (\text{t})$$

4. 25m³和14m³蒸球的节能效果计算

【说明】假设25m³和14m³蒸球的工况与40m³蒸球相同,只是球体直径不同即壳外表面积不同,则可采用比例法计算出25m³和14m³蒸球的节能效果,其计算结果如下:

25m³蒸球:外表面积41.85m²,每年节约标准煤86.1t/(球·年)

14m³蒸球:外表面积29.5m²,每年节约标准煤60.7t/(球·年)。

(五) 蒸球保温材料的保温比较计算及实例

【说明】造纸厂蒸球保温材料主要是岩棉制品、普通硅酸铝耐火纤维制品,泡沫石棉制品、矿渣棉制品等。各种材料的性能及节能效果是不相同的,下面从热量损失及节能情况作以计算比较。

【公式及已知数据】

1. 热损失计算:

$$Q = KFZ(t_1 - t_0)$$

式中 Q —— 热量损失(kJ)

F —— 25m³蒸球外表面积,取41.85m²/台

Z —— 每日蒸球有效蒸煮时间,取15h/(台·d)

t_1 —— 蒸煮最高温度,取160℃

t_0 —— 车间环境温度,取25℃

K —— 总传热系数(kJ/(m²·h·℃))

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

式中 α_1 —— 球内物料对球壁给热系数, 取 $20934 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$

α_2 —— 保温结构外表面对空气给热系数, 取 $36.72 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ —— 分别表示球壁厚度, 保温层厚度和金属护壳厚度, 其值分别取 0.016 、 0.05 和 0.001 m

λ, λ_3 —— 钢的导热系数, 取 $209.34 \text{ kJ}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$

λ_2 —— 保温层材料导热系数, 见表 1-2-29

2. 不同保温材料节约标煤比较计算

$$G = \frac{T'(Q - Q')}{29307.6\eta} \quad (1-2-96)$$

式中 G —— 保温层节约热能折合标煤量 $[\text{t}/(\text{年} \cdot \text{台})]$

表 1-2-29

不同保温材料的导热系数

保温材料	导热系数 $[\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})]$
岩棉制品	0.1884
泡沫石棉制品	0.2219
矿渣棉	0.2303
普通硅酸铝耐火纤维制品	0.3768
水泥蛭石	0.4103

T' —— 年生产天数, 取 330 天

Q —— 无保温结构时蒸球热损失 $[\text{kJ}/(\text{d} \cdot \text{台})]$

Q' —— 有保温材料时蒸球热损失 $[\text{kJ}/(\text{d} \cdot \text{台})]$

29307.6 —— 标准煤发热量为 $29307.6 \text{ kJ}/\text{kg}$ ($7000 \text{ kcal}/\text{kg}$)

η —— 锅炉热效率, 取 60%

【计算结果及比较】

1. 蒸球无保温结构时热量损失 Q

$$Q = K_0 F Z (t_1 - t_0)$$

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha'_2}}$$

式中 α'_2 —— 球壁外表面对空气的给热系数, 取 $62.80 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$

$$\begin{aligned} \text{则: } Q &= \frac{FZ(t_1 - t_0)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha'_2}} \\ &= \frac{41.85 \times 15(160 - 25)}{\frac{1}{20934} + \frac{0.016}{209.34} + \frac{1}{62.80}} \\ &= 5385972.3 [\text{kJ}/(\text{d} \cdot \text{台})] \end{aligned}$$

2. 蒸球有保温结构时的热量损失 Q'

(1) 岩棉制品作保温层时的热损失 Q'_1

$$Q'_1 = K_1 F Z (t_1 - t_0)$$

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\begin{aligned} \text{则: } Q_1' &= \frac{FZ(t_1 - t_0)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \\ &= \frac{84746.25}{\frac{1}{20934} + \frac{0.016}{209.34} + \frac{0.05}{0.1884} + \frac{0.001}{209.34}} \\ &= 289485.65 [\text{kJ}/(\text{d} \cdot \text{台})] \end{aligned}$$

(2)其它保温材料作保温层时的热量损失计算

与岩棉制品作保温层时的计算方法相同,得其它保温材料作保温层时的热量损失如表1-2-30。

3.不同保温材料的节能效果比较计算以岩棉制品作保温层时,节标煤量为:

根据式1-2-96得:

$$\begin{aligned} G &= \frac{T'(Q - Q')}{29307.67} \\ &= \frac{330(5385972.3 - 289485.65)}{29307.6 \times 60\%} \\ &= 95.65 [\text{t}/(\text{年} \cdot \text{台})] \end{aligned}$$

同理,对以其它保温材料作保温层时,其节约热能折合标煤量见表1-2-30。

表1-2-30 不同保温材料作保温层时损失热量及节能情况比较

保温材料种类	热 量 损 失 比 较			节省热量折合标煤量 [t/(年·台)]
	热量损失 [kJ/(d·台)]	占无保温时比例 (%)	与岩棉比较提高 (%)	
无保温结构时	5385972.3			
岩棉制品	289485.65	5.37		95.64
泡沫石棉制品	335377.12	6.23	15.85	94.78
矿渣棉制品	346614.70	6.44	19.73	94.57
普通硅酸铝耐火纤维制品	529479.89	9.83	82.90	91.14
水泥蛭石制品	567913.92	10.54	96.18	90.42

四、蒸煮锅的有关计算

(一)蒸煮锅的容积及台数的确定计算

1. 间歇蒸煮锅的容积及台数的确定计算

① 容积的计算

【公式】

$$V = \frac{90qT}{\gamma\beta\Phi} \quad (1-2-97)$$

式中 V —— 蒸煮锅容积(m^3)

q —— 粗浆产量(t 风干浆/ d)

γ —— 原料装锅的绝干散堆重度(kg/m^3),其值随原料品种,装锅方法而异,可由试验确定

β —— 蒸煮粗浆得率(%),按绝干计

T —— 间歇蒸煮锅循环周期(h),由工艺规程决定,等于原料装锅、送液、升温、保温、放汽、放锅等过程所用时间的总和

90——纸浆风干重量换算成绝干重量的系数

Φ ——充满系数,通常取0.8~0.9

② 台数的确定

【公式】

$$n = \frac{1000qt}{24V\alpha\eta K} \quad (1-2-98)$$

式中 V ——蒸煮锅容积(m^3)

α ——蒸煮锅单位容积的装锅量(kg/m^3)见表1-2-28

t ——每台设备每次蒸煮总时间(h)

K ——设备利用系数,一般取0.8

η ——粗浆得率(%)

q' ——粗浆产量(t绝干浆/d)

2. 连续蒸煮器容积的确定

【说明】连续式蒸煮器的长度与直径依据蒸煮工艺和制造工艺确定。

【公式】

$$V = \frac{90qT'}{\gamma\beta\Phi'} \quad (m^3) \quad (1-2-99)$$

式中 T' ——原料通过连续蒸煮器的时间(h),等于浸渍、升温、保温等过程所需时间的总和

Φ' ——连续蒸煮器充满系数,其值随蒸煮空间位置、结构形式而异,直式连续蒸煮锅取0.9~0.95,横管式取0.5~0.75;

其它符号及单位见式1-2-97。

(二) 立式蒸煮锅容积的设计计算

【说明】立式蒸煮锅分为三部分(见图1-2-7),锅顶为一圆弧中心不在轴线上的半球体;锅身为直立圆筒;锅底为切头圆锥。尺寸见图。

1. 锅顶容积 V_1

设锅顶容积为 V_1 ,在该部任取一薄圆盘,设其半径为 X ,厚度为 dY ,则得:

$$dV_1 = \pi X^2 dY \quad (1-2-100)$$

由图锅顶右边圆弧列方程式:

$$(X + 0.5)^2 + Y^2 = 4$$

$$\text{得: } X^2 = 4 - Y^2 + 0.25 - \sqrt{4 - Y^2} \quad (1-2-101)$$

代式1-2-71入式1-2-70并积分得:

$$\begin{aligned} V_1 &= \int_0^{1.7} \pi X^2 dY \\ &= \int_0^{1.7} \pi (4.25 - Y^2 - \sqrt{4 - Y^2}) dY \end{aligned}$$

为简化计算,采用换元积分法,先将式中 $\sqrt{4 - Y^2}$ 项积分,解 $\int \sqrt{4 - Y^2} dY$; 设 $Y =$

$2\sin u$, 则 $\sqrt{4 - Y^2} = 2\cos u$, $dY = 2\cos u du$, 故,

$$\begin{aligned} \int \sqrt{4 - Y^2} dY &= \int 2^2 \cos^2 u du = 4 \int \frac{1 + \cos 2u}{2} du \\ &= 2u + \sin 2u = 2u + 2\cos u \sin u \end{aligned} \quad (1-2-102)$$

现在,再把变量 u 还原为 Y , 根据 $Y = 2\sin u$ 画一直角三角形, 如图1-2-8。

由图1-2-8可以看出: $\sin u = \frac{Y}{2}$, 则

$\cos u = \frac{\sqrt{4-Y^2}}{2}$, 将其代入式1-2-102得

$$\begin{aligned}\int \sqrt{4-Y^2} dY &= 2u + 2\cos u \sin u \\ &= 2\sin^{-1} \frac{Y}{2} + 2 \times \frac{\sqrt{4-Y^2}}{2} \cdot \frac{Y}{2} \\ &= 2\sin^{-1} \frac{Y}{2} + \frac{Y}{2} \sqrt{4-Y^2}\end{aligned}$$

故锅顶容积为:

$$\begin{aligned}V_1 &= \int_0^{1.7} \pi(4.25 - Y^2 - \sqrt{4-Y^2}) dY \\ &= \pi \left[4.25Y - \frac{Y^3}{3} - \left(2\sin^{-1} \frac{Y}{2} + \frac{Y}{2} \sqrt{4-Y^2} \right) \right]_0^{1.7} \\ &= \pi \left[4.25 \times 1.7 - \frac{1.7^3}{3} - \left(2\sin^{-1} \frac{1.7}{2} + \frac{1.7}{2} \sqrt{4-1.7^2} \right) \right] \\ &= \pi \left[7.225 - 1.638 - \left(2 \times \frac{58.21}{53.30} + \frac{1.7}{2} \times 1.054 \right) \right] \\ &= 8.356(\text{m}^3)\end{aligned}$$

2. 锅身容积 V_2

$$\begin{aligned}V_2 &= \pi R^2 h \\ &= 3.14 \times 1.5^2 \times 5.65 = 39.938(\text{m}^3)\end{aligned} \quad (1-2-103)$$

3. 锅底容积 V_3

$$V_3 = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) \quad (1-2-104)$$

式中 h ——切头圆锥体高度(m)

A_1 ——切头圆锥体上部面积(m^2)

A_2 ——切头圆锥体下部面积(m^2)

$$\begin{aligned}\text{则: } V_3 &= \frac{2.38}{3} \times 3.14 (1.5^2 + 0.125^2 + \\ &\quad \sqrt{1.5^2 \times 0.125^2}) \\ &= \frac{2.38}{3} \times 2 \times 2.4531 \\ &= 6.114(\text{m}^3)\end{aligned}$$

4. 蒸煮锅总容积 V

$$\begin{aligned}V &= V_1 + V_2 + V_3 \\ &= 8.356 + 39.938 + 6.114 \\ &= 54.408(\text{m}^3)\end{aligned}$$

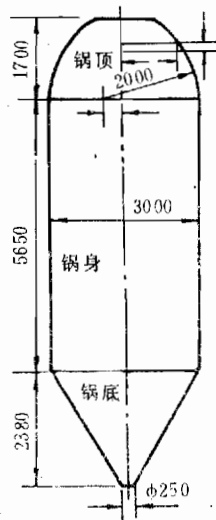


图1-2-8 立式蒸煮锅的结构尺寸

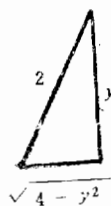


图1-2-9 变量三角分析图

第三章 酸法蒸煮的工艺与设备的计算

第一节 亚硫酸盐溶液的制备计算

一、硫铁矿的焙烧计算

(一) 硫铁矿的焙烧计算

1. 燃烧反应的计算

(1) 矿渣产率 X 的计算

① 计算通式

【说明】矿渣系指从炉床排出的炉渣和由炉气带出的炉灰的总称。假定矿渣中的硫和在原矿中的硫是以同一化合物形式存在,生成的矿渣对所用于矿石的重量比率称为矿渣产率。

【公式】

$$X = \frac{C_{S(\text{理})} - (1 - \alpha)C_S}{C_{S(\text{理})} - (1 - \alpha)C_{S(\text{渣})}} \quad (1-3-1)$$

式中 X —— 矿渣产率(%)

$C_{S(\text{理})}$ —— 矿石中硫的理论含量(%)

C_S —— 干矿中硫的实际含量(%)

$C_{S(\text{渣})}$ —— 矿渣中硫的含量(%)

α —— 当化合物完全燃烧时,矿渣的理论生成量(%),焙烧各种含硫原料时的 α 值见表 1-3-1。

表 1-3-1 焙烧各种含硫原料时 α 值及矿渣产率计算公式

原料	燃 烧 反 应	$C_S(\text{理})$	α (近似值)	X	公式编号
硫铁矿 FeS_2	$4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$	53.46	0.67	$\frac{160 - C_S}{160 - C_{S(\text{渣})}}$	I
	$3\text{FeS}_2 + 8\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{SO}_2$	53.46	0.64	$\frac{148 - C_S}{148 - C_{S(\text{渣})}}$	I
一硫化铁 FeS	$4\text{FeS} + 7\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2$	36.46	0.91	$\frac{405 - C_S}{405 - C_{S(\text{渣})}}$	II
	$3\text{FeS} + 5\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SO}_2$	36.46	0.88	$\frac{304 - C_S}{304 - C_{S(\text{渣})}}$	IV
磁硫化铁 Fe_7S_8	$4\text{Fe}_7\text{S}_8 + 53\text{O}_2 = 14\text{Fe}_2\text{O}_3 + 32\text{SO}_2$	39.62	0.86	$\frac{283 - C_S}{283 - C_{S(\text{渣})}}$	V

② 焙烧各种含硫原料时矿渣产率 X 的计算

【说明】焙烧各种含硫原料时矿渣产率 X 的计算公式列于表 1-3-1。硫铁矿渣中存在有 FeS 形式的硫,可以由焙烧硫铁矿的计算通式(式 1-3-1)导出。

【公式】

根据表 1-3-1 中 I 式得:

$$X_1 = \frac{160 - C_s}{160 - 0.4C_{S(\text{渣})}} \quad (1-3-2)$$

根据 I 式得:

$$X_2 = \frac{148 - C_s}{148 - 0.5C_{S(\text{渣})}} \quad (1-3-3)$$

焙烧含碳硫铁矿时,矿渣产率 X' 为:

$$X' = X - \frac{C_c}{100} \quad (1-3-4)$$

式中 X ——按表 1-3-1 计算的矿渣产率(%)

C_c ——干矿中碳含量(%)

(2) 硫利用率的计算

【说明】硫利用率又称硫烧出率,其值可由计算法和查图法求出。

① 计算法

【公式】

$$\eta_s = \frac{C_s - XC_{S(\text{渣})}}{C_s} \quad (1-3-5)$$

式中 η_s ——硫利用率(%)

$C_s, C_{S(\text{渣})}$ ——原矿和矿渣中的含硫量(%)

【附表】同矿渣一起损失的硫量与硫铁矿中含硫量的关系见表 1-3-2。

② 查图法

【说明】见根据式 1-3-5 绘制的硫利用率计算图 1-3-1。

【例】焙烧硫铁矿时,矿含硫 24.0%,渣含硫 0.8%,由图上方横坐标轴上 $C_s = 24.0\%$ 一点 a 画垂直线与图中的 FeS_2 曲线交于 b 点,再由 b 点画水平线与 $C_{S(\text{渣})} = 0.8\%$ 的斜线交于 c 点,由 c 点画垂直线与图下方横坐标轴交于 d 点,则

表 1-3-2 同矿渣一起损失的硫量与硫铁矿中含硫量的关系

矿渣中 含硫量 (%)	硫 的 损 失 (%)										
	硫 铁 矿 中 硫 的 含 量 (%)										
	30	35	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0.50	1.20	1.03	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80	0.78	0.77	0.75
0.75	1.80	1.69	1.35	1.32	1.29	1.26	1.23	1.20	1.17	1.15	1.12
1.00	2.40	2.06	1.80	1.75	1.71	1.67	1.64	1.60	1.56	1.53	1.50
1.25	3.00	2.72	2.25	2.20	2.15	2.10	2.05	2.00	1.95	1.92	1.87
1.50	3.60	3.09	2.70	2.63	2.57	2.51	2.46	2.40	2.34	2.30	2.25
1.75	4.20	3.75	3.15	3.07	3.00	2.94	2.87	2.80	2.71	2.68	2.62
2.00	4.80	4.12	3.60	3.50	3.42	3.34	3.28	3.20	3.12	3.06	3.00
2.25	5.40	4.78	4.05	3.94	3.85	3.77	3.69	3.60	3.50	3.45	3.38
2.50	6.00	5.15	4.50	4.38	4.28	4.20	4.10	4.00	3.90	3.84	3.75
2.75	6.60	5.81	4.95	4.82	4.71	4.61	4.51	4.40	3.30	4.22	4.12
3.00	7.20	6.18	5.40	5.26	5.14	5.02	4.92	4.80	4.70	4.60	4.50
3.50	8.40	7.21	6.30	6.14	5.99	5.85	5.64	5.60	5.47	5.36	4.75
4.00	9.50	8.24	7.20	7.00	6.84	6.68	6.56	6.40	6.24	6.12	6.00
4.50	10.80	9.27	8.10	7.89	7.72	7.54	7.38	7.20	7.02	6.91	6.75
5.00	12.00	10.30	9.00	8.80	8.60	8.40	8.20	8.00	7.80	7.70	7.50

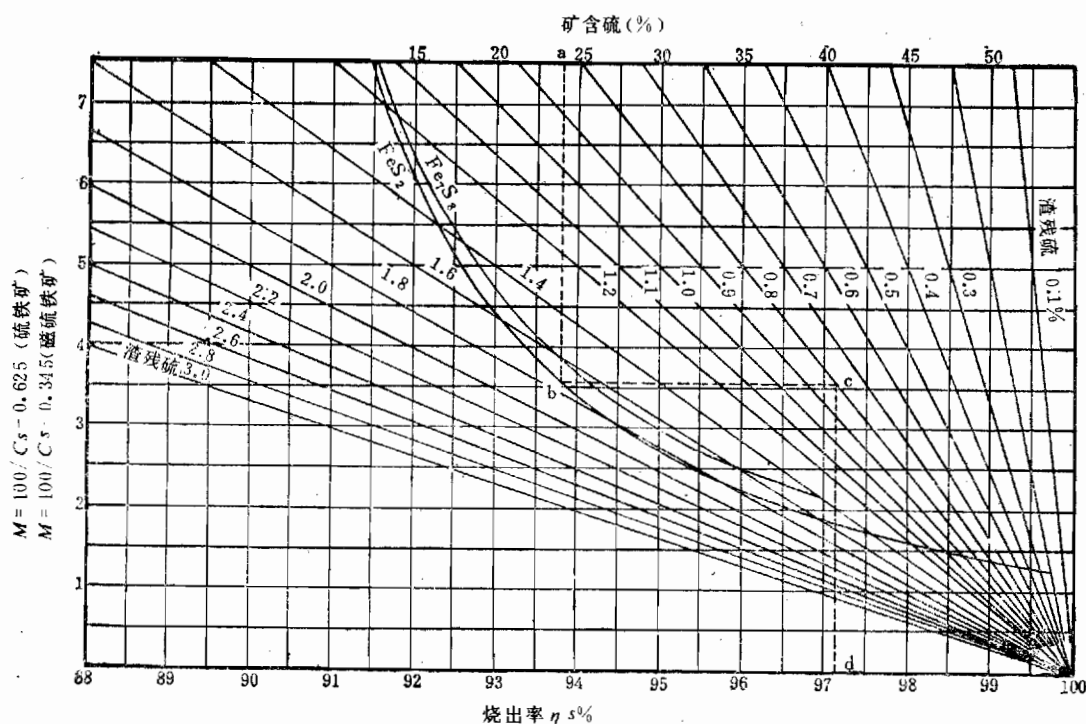


图 1-3-1 硫利用率计算图

得 $\eta_s = 97.15\%$ 。

(3) 炉气体积和空气用量计算

① 炉气体积 $V_{\text{气}}$

【说明】对于焙烧 1t 硫铁矿，如不生产 SO_3 ，炉气的体积由式 1-3-6 计算；当气体中含有 $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$ 时，则按式 1-3-7 计算。燃烧 1 千克硫化物时炉气体积见图 1-3-2 和表 1-3-4

【公式】

$$V_{\text{气}} = 700 \frac{\eta_s C_s}{C_{\text{SO}_2}} \text{ (标准 m}^3\text{)} \quad (1-3-6)$$

$$V_{\text{气}} = 700 \frac{\eta_s C_s}{C_{\text{SO}_2} + C_{\text{SO}_3}} \text{ (标准 m}^3\text{)} \quad (1-3-7)$$

式中 η_s —— 硫利用(烧出)率(%)

C_s —— 干矿中硫的实际含量(%)

$C_{\text{SO}_2}, C_{\text{SO}_3}$ —— 炉气中 SO_2 和 SO_3 的体积含量(%)

② 空气用量 $V_{\text{空}}$

【说明】焙烧 1 吨硫铁矿的空气理论用量可按式 1-3-8 计算；燃烧 1 千克硫铁矿时空气消耗量见表 1-3-4。

【公式】

$$V_{\text{空}} = V_{\text{气}} \frac{100 + (m - 1)C_{\text{SO}_2}}{100} \text{ (标准 m}^3\text{)} \quad (1-3-8)$$

式中 $V_{\text{气}}, C_{\text{SO}_2}$ ——同式 1-3-6

m ——按反应方程式所需消耗的 O_2 的摩尔数和所得 SO_2 摩尔数的比值,见表 1-3-3。

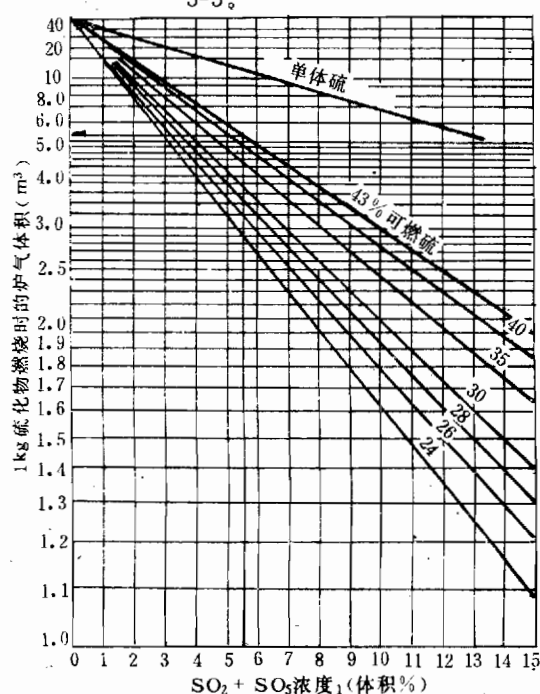


图 1-3-2 燃烧 1kg 硫化物时炉气体积

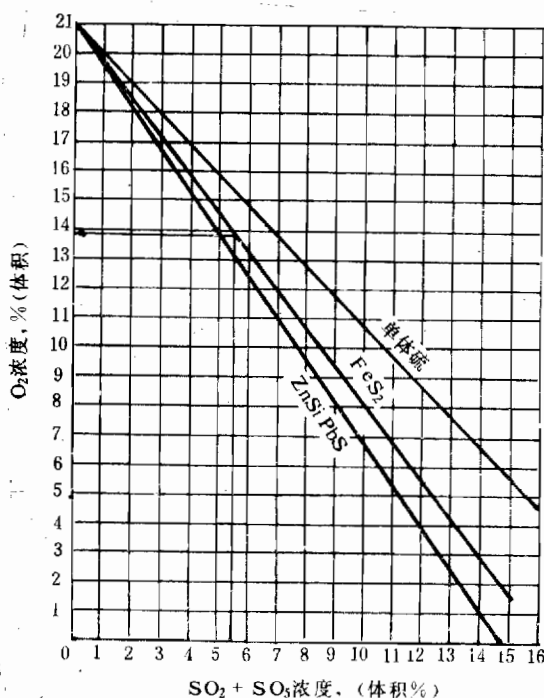


图 1-3-3 炉气中 O_2 浓度和 $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$ 浓度的关系

表 1-3-3

不同燃烧反应的 m 值

燃 烧 反 应	m
$4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$	1.375
$3\text{FeS}_2 + 8\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{SO}_2$	1.333
$4\text{FeS} + 7\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2$	1.750
$3\text{FeS} + 5\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SO}_2$	1.667
$4\text{Fe}_7\text{O}_8 + 53\text{O}_2 = 14\text{Fe}_2\text{O}_3 + 32\text{SO}_2$	1.656

(4) 空气过剩系数 α

【说明】空气过剩系数 α 指空气的实际消耗量对理论消耗量之比。燃烧硫铁矿时炉气中 SO_2 浓度与空气过剩系数的关系见表 1-3-5。

【公式】

$$\alpha = \frac{15.27}{C_{\text{SO}_2}} + \frac{n(m-1)}{100} \quad (1-3-9)$$

式中 n ——空气或含氧气体中氧的浓度(%),对在空气中燃烧硫铁矿 n 取 21%

m ——参加反应的氧摩尔数对生成 SO_2 摩尔数的比例,对在空气中燃烧硫铁矿

取 $m = 1.375$ (见表 1-3-3)

其它符号含义及单位同前

【讨论】对在空气中燃烧硫铁矿时,空气过剩系数可由式 1-3-10 进行计算。

$$\alpha = \frac{15.27}{C_{\text{SO}_2}} + 0.057 \quad (1-3-10)$$

(5) 炉气中 SO₂ 浓度

【说明】炉气中 SO₂ 浓度随空气过剩系数的增加而降低。在空气中燃烧硫铁矿，且 α = 1 时，炉气中 SO₂ 的理论浓度为 16.2% (体积) (见表 1-3-5)。

【公式】

$$C_{SO_2} = \frac{15.27}{\alpha - 0.01n(m-1)} \quad (1-3-11)$$

式中符号含义及单位同式 1-3-9。

(6) 炉气中 O₂ 的含量 C_{O₂}

① 不考虑 SO₃ 生成时 C_{O₂} 的计算

【说明】用任何组分的氧-氮混合物，燃烧任何含硫原料，所得炉气中 O₂ 含量 C_{O₂} 及 SO₂ 含量 C_{SO₂} (均为体积百分比) 之间的关系 (不计 SO₃ 的生成) 可用式 1-3-12 表示。

表 1-3-4 燃烧 1kg 硫铁矿时炉气体积和空气消耗量

硫铁矿中燃烧 了的硫(%)	空 气 消 耗 量 (m ³)							
	炉气中 SO ₂ 的浓度(体积%)							
	7	8	9	10	11	12	13	14
20	2.00	1.75	1.57	1.40	1.27	1.17	1.08	1.00
22	2.20	1.93	1.71	1.53	1.40	1.28	1.18	1.09
25	2.50	2.19	1.94	1.75	1.59	1.46	1.34	1.25
26	2.60	2.29	2.03	1.82	1.66	1.52	1.40	1.30
27	2.70	2.37	2.10	1.89	1.72	1.58	1.45	1.35
28	2.80	2.46	2.18	1.96	1.78	1.63	1.50	1.40
29	2.89	2.53	2.25	2.02	1.84	1.67	1.55	1.44
30	3.00	2.63	2.34	2.10	1.90	1.75	1.61	1.49
31	3.10	2.71	2.42	2.17	1.97	1.80	1.67	1.55
32	3.20	2.80	2.50	2.24	2.04	1.87	1.72	1.60
33	3.30	2.90	2.58	2.32	2.10	1.93	1.77	1.65
34	3.40	2.98	2.65	2.38	2.16	1.98	1.83	1.70
35	3.50	3.05	2.73	2.45	2.22	2.04	1.88	1.74
36	3.60	3.16	2.82	2.52	2.30	2.10	1.94	1.80
37	3.70	3.24	2.88	2.60	2.36	2.16	1.99	1.85
38	3.80	3.32	2.95	2.66	2.42	2.22	2.04	1.90
39	3.90	3.41	3.03	2.73	2.49	2.28	2.10	1.95
40	4.00	3.50	3.10	2.80	2.55	2.34	2.15	2.00
42	4.18	3.66	3.26	2.93	2.68	2.46	2.26	2.10
44	4.39	3.38	3.41	3.07	2.79	2.56	2.36	2.19
46	4.60	4.01	3.57	3.21	2.93	2.69	2.48	2.30
空气用量/炉气体积	1.026	1.030	1.034	1.037	1.041	1.044	1.048	1.051

表 1-3-5 燃烧硫铁矿时炉气中 SO₂ 浓度与空气过剩系数的关系

空气过剩系数 α	炉气中 SO ₂ 浓度(体积%) C _{SO₂}	空气过剩系数 α	炉气中 SO ₂ 浓度(体积%) C _{SO₂}
1.0	16.20	1.8	8.78
1.1	14.56	1.9	8.33
1.2	13.36	2.0	7.90
1.3	12.30	3.0	5.17
1.4	11.40	4.0	3.87
1.5	10.60	5.0	3.08
1.6	9.94	10	1.50
1.7	9.30	∞(无穷大)	0

【公式】

$$C_{O_2} = n - KC_{SO_2} \quad (1-3-12)$$

式中 n ——空气中氧含量(%) (体积), 见表1-3-6

K ——系数

$$K = \frac{100m - n(m-1)}{100} \quad (1-3-13)$$

其它符号含义及单位均同前

【例】计算用空气燃烧硫铁矿时炉气中 O_2 的含量。

解: 当用空气燃烧硫铁矿时, $n = 21\%$, 查表 1-3-3 得 $m = 1.375$, 则:

$$K = \frac{100 \times 1.375 - 21\%(1.375 - 1)}{100} = 1.296$$

$$C_{O_2} = 21 - 1.296C_{SO_2} \quad (1-3-14)$$

②当有 SO_3 生成时 C_{O_2} 的计算

【公式】

$$C_{O_2} = n - KC_{SO_3} - K'C_{SO_2} \quad (1-3-15)$$

式中 K' ——系数;

$$K' = m' - \frac{n(m' - 1)}{100} \quad (1-3-16)$$

m' ——参加反应($SO_2 + \frac{1}{2}O_2 = SO_3$)的氧摩尔数对在生成 SO_3 的燃烧反应中所得的 SO_3 摩尔数的比例

【附表】不同燃烧反应燃烧气体的成分见表1-3-6。

表1-3-6

燃烧气体的组成

燃 烧 产 物	燃 烧 反 应	$m(\%)$	$n(\%)$	C_{O_2}	C_{SO_2}
在空气中的硫	$S + O_2 = SO_2$	1.0	21	$21 - C_{SO_2}$	21
在50%氧中的硫	$S + O_2 = SO_2$	1.0	50	$50 - C_{SO_2}$	50
在空气中的硫化铁	$4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2$	1.375	21	$21 - 1.296 C_{SO_2}$	16.2
在50%氧中的硫化铁	$4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2$	1.375	51	$50 - 1.88 C_{SO_2}$	42.0
在空气中的一硫化铁	$4FeS_2 + 7O_2 = 2Fe_2O_3 + 4SO_2$	1.75	2	$21 - 1.592 C_{SO_2}$	13.2
在空气中的硫铁矿 (燃烧温度在1300℃以上)	$6FeS_2 + 16O_2 = 2Fe_3O_4 + 12SO_2$	1.33	21	$21 - 1.26 C_{SO_2}$	16.7

【附图】炉气中 O_2 浓度和 $SO_2 + SO_3$ 浓度的关系见图1-3-3。

(7) 炉气中 SO_3 的含量

【说明】根据反应: $SO_2 + \frac{1}{2}O_2 = SO_3$ 知, 在催化剂的作用下, SO_3 的生成反应加速。当炉气和氧化铁接触时, SO_2 转变为 SO_3 的量与温度的关系如图1-3-4所示; 炉气中 SO_2 和 SO_3 的关系如图1-3-5和表1-3-7所示。应注意的是, 新烧成的矿渣不是催化剂, Fe_2O_3 的催化作用仅在矿渣中集有大量硫酸盐时才开始发生。在温度为450~550℃时, 燃烧含硫原料所生成的 SO_3 最多; 温度高于1000℃时, SO_3 几乎全部解离成 SO_2 和 O_2 ; 要使炉气中含有最小量的 SO_3 应尽可能通入少量的过剩空气, 控制灰渣及湿式净化系统的排水颜色为棕色可获得较好的结果。炉灰颜色和炉气中 SO_3 含量的关系见表1-3-8。

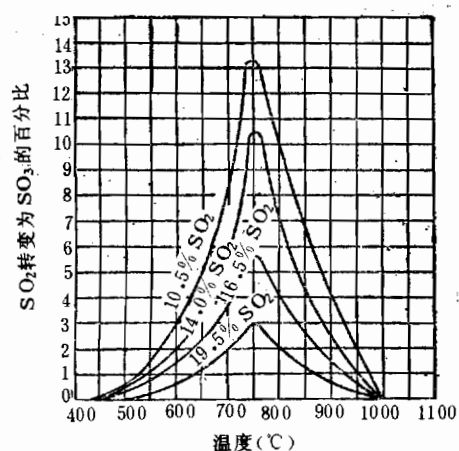


图1-3-4 氧化铁催化剂对炉气中SO₂转化为SO₃的作用

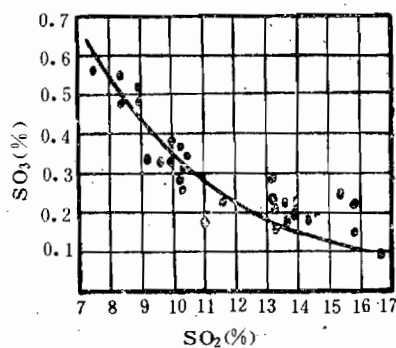


图1-3-5 炉气中SO₂和SO₃的关系

表1-3-7 炉气中SO₂和SO₃的关系

SO ₂ %实例		9	10	11	12	13	14
SO ₃ %实例		0.53	0.47	0.44	0.13	0.06	0.04
O ₂ %	实例	5.3	4.7	4.1	2.06	0.86	0.78
	计算	8.44	7.25	6.00	5.23	4.05	2.8

表1-3-8 炉灰颜色和炉气中SO₃含量的关系

炉 灰 颜 色	红	棕	黑
炉气中SO ₂ (%)	<9	12.5~13.6	>13.6
炉气中SO ₃ (%)	0.4~0.6	<0.1	<0.1
炉灰残硫(%)	~0.45	<1.2	~0.3
总 硫(%)	>1.4	<1.2	~1.2
炉灰中Fe ₂ O ₃ /Fe ₃ O ₄	>30	3~10	<3

(8) 炉气中H₂O含量

【说明】在未采取直接加水控制沸腾层温度时,炉空中H₂O含量由矿粉和空气带入。

①燃烧1t干矿,由矿带入的水量W'

【公式】

$$W' = \frac{1000W_{H_2O}}{100 - W_{H_2O}} \quad (\text{kg}) \quad (1-3-17)$$

式中 W_{H_2O} —— 矿粉含水量(%)

②燃烧1t干矿,由空气带入的水量W''

【公式】

$$W'' = \frac{\alpha_{H_2O} V_{\text{空}}}{1000} \quad (\text{kg}) \quad (1-3-18)$$

式中 α_{H_2O} —— 在1标准米³干空气含水量(g),通常采用在某一温度下饱和湿含量的50~80%

$V_{\text{空}}$ —— 燃烧一吨干矿的空气用量(标准 m³)

③燃烧1t干矿,炉气中总含量 W

【公式】

$$W = W' + W'' \quad (\text{kg}) \quad (1-3-19)$$

式中符号含义及单位均同上

(9)炉气的热容量 \overline{C}_P

【说明】燃烧硫铁矿时,所得干炉气的平均摩尔热容量可按下列公式计算。

【公式】当炉气温度 $t = 0 \sim 500^\circ\text{C}$ 时:

$$\overline{C}_P = 6.78 + 3.07C_{\text{SO}_2} + (0.00081 + 0.00179C_{\text{SO}_2})t \quad (1-3-20)$$

当 $t = 500 \sim 1000^\circ\text{C}$ 时:

$$\overline{C}_P = 6.87 + 3.34P_{\text{SO}_2} + (0.00063 + 0.00124C_{\text{SO}_2})t \quad (1-3-21)$$

当 $t = 1000 \sim 1500^\circ\text{C}$ 时:

$$\overline{C}_P = 6.95 + 4.33C_{\text{SO}_2} + (0.00055 + 0.00025C_{\text{SO}_2})t \quad (1-3-22)$$

式中 \overline{C}_P —— 炉气的平均分子热容量 [$\text{kcal}/(\text{mol} \cdot ^\circ\text{C})$]

[$1\text{kcal}/(\text{mol} \cdot ^\circ\text{C}) = 4.1868\text{kJ}/(\text{mol} \cdot ^\circ\text{C})$]

P_{SO_2} —— 当炉气总压力为1atm时,炉气中 SO_2 的分压(atm),

(1atm = $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$)

t —— 炉气温度($^\circ\text{C}$)

其它同上

(10)炉气的粘度 $\mu_{\text{混}}$

【公式】

$$\mu_{\text{混}} = \frac{m_1 \sqrt{M_1 T_{k1}} \mu_1 + m_2 \sqrt{M_2 T_{k2}} \mu_2 + \dots + m_n \sqrt{M_n T_{kn}} \mu_n}{m_1 \sqrt{M_1 T_{k1}} + m_2 \sqrt{M_2 T_{k2}} + \dots + m_n \sqrt{M_n T_{kn}}} \quad (1-3-23)$$

式中 $\mu_{\text{混}}$ —— 混合气体在温度 t ($^\circ\text{C}$) 时的粘度($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

μ_1, μ_2 —— 各组分在温度 t ($^\circ\text{C}$) 时的粘度($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

m_1, m_2 —— 各组分的体积百分数(%)

T_{k1}, T_{k2} —— 各组分的临界温度($^\circ\text{K}$)

M_1, M_2 —— 各组分的摩尔质量

【讨论】根据式1-3-23计算的用空气燃烧硫铁矿产生的炉气粘度见表1-3-9;在相同温度下,炉气粘度与空气粘度比较相差很小(见表1-3-10),故在计算中可用空气粘度代替炉气粘度。

(11)炉气的露点 t_p

①计算法

【说明】确定含有水蒸汽和 SO_3 气体的露点的公式见式1-3-24。

【公式】

$$t_p = 186 + 20 \lg C_{\text{H}_2\text{O}} + 26 \lg C_{\text{SO}_3} \quad (1-3-24)$$

式中 t_p —— 炉气的露点($^\circ\text{C}$)

$C_{\text{H}_2\text{O}}, C_{\text{SO}_3}$ —— 炉气中 H_2O 和 SO_3 含量(体积%)

②列线图法

表1-3-9

炉气的粘度($1\text{cP}=10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$)

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	粘 度 (10^{-2}cP)				
	炉 气 中 SO_2 含 量 (%)				
	6	7	8	9	10
4	1.610	1.596	1.580	1.567	1.560
100	2.035	2.020	2.005	1.990	1.970
200	2.435	2.415	2.395	2.380	2.360
300	2.813	2.790	2.770	2.672	2.660
400	3.153	3.132	3.110	3.100	3.070
500	3.590	3.560	3.540	3.520	3.510
600	3.880	3.880	3.840	3.840	3.820
700	4.160	4.140	4.125	4.110	4.100
800	4.465	4.440	4.420	4.410	4.395
900	4.680	4.660	4.640	4.630	4.610
1000	4.910	4.870	4.870	4.860	4.840
1100	5.160	5.130	5.130	5.110	5.090

表1-3-10

炉气粘度和空气粘度比较

项 目	炉 气	空 气
气体成分(%)	SO_2 8 O_2 12.5 N_2 79.5	O_2 21 N_2 79
温 度($^{\circ}\text{C}$)	400	400
粘 度*(cP)	0.0395 0.0316 0.0323	0.0388 0.0323 0.0329

*表中三组粘度数值系采用不同计算方法所得。 $1\text{cP}=10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

【说明】根据式1-3-24绘出的列线图见图1-3-6。

③曲线图法

【说明】含 SO_3 湿气体的露点温度,见图1-3-7。

【例】含 SO_3 0.05% (分压为3.8Pa), 含水3% (分压为228Pa) 的炉气, 从图中可以查得其露点温度约为19.3 $^{\circ}\text{C}$, 开始冷凝时的酸雾浓度约为93.5%。

(12)炉气的重度

【说明】炉气重度的计算见式1-3-25; 在标准状态(0°C , $1.013\times 10^5\text{Pa}$)下, 不同 SO_2 浓度的炉气重度见表1-3-11。

【公式】

$$\gamma_{\text{混}} = n_1\gamma_1 + n_2\gamma_2 + \dots + n_n\gamma_n \quad (1-3-25)$$

式中 $\gamma_{\text{混}}$ ——混合气体的重度(N/m^3)

n_1, n_2, n_n ——在混合气体中各组分的体积百分数(%)

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_n$ ——混合气体中各相应组分的重度(N/m^3)

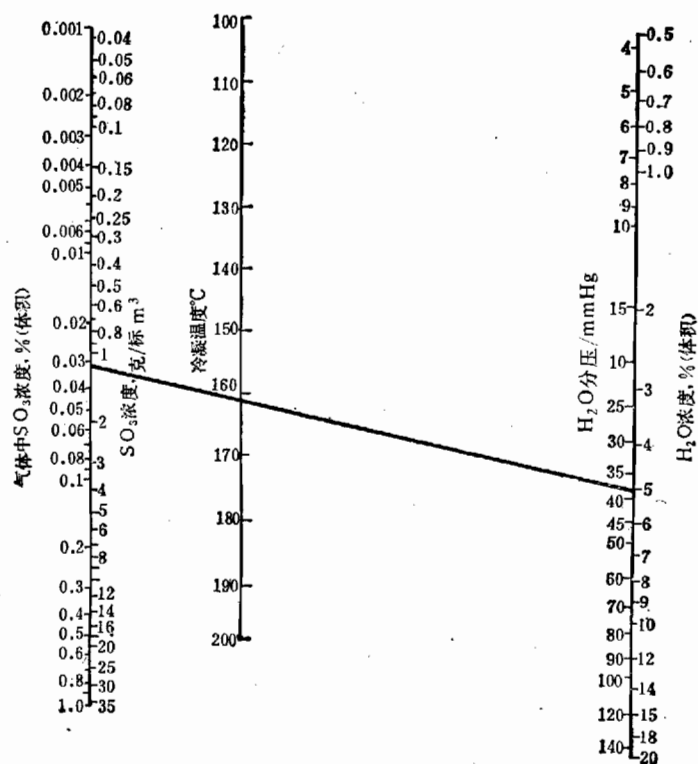


图1-3-6 含 SO_3 和 H_2O 炉气的露点

($1\text{mmHg}=1.333\times 10^2\text{Pa}$)

表1-3-11 不同 SO_2 浓度下的炉气重量 ($1\text{kg}/\text{m}^3=9.81\text{N}/\text{m}^3$)

炉 气 成 分 (体 积 %)			炉气重量 (kg/m^3)
SO_2	N_2	O_2	
2	79.690	18.310	1.317
3	80.040	16.960	1.322
4	80.387	15.613	1.346
5	80.730	14.270	1.360
6	81.080	12.920	1.374
7	81.427	11.573	1.389
8	81.774	10.226	1.403
9	82.120	8.880	1.418
10	82.467	7.533	1.432
11	82.814	6.186	1.446
12	83.160	4.845	1.461
13	83.507	3.493	1.475

2. 热反应过程的计算

(1) 热反应效应计算

① 含硫原料热效应

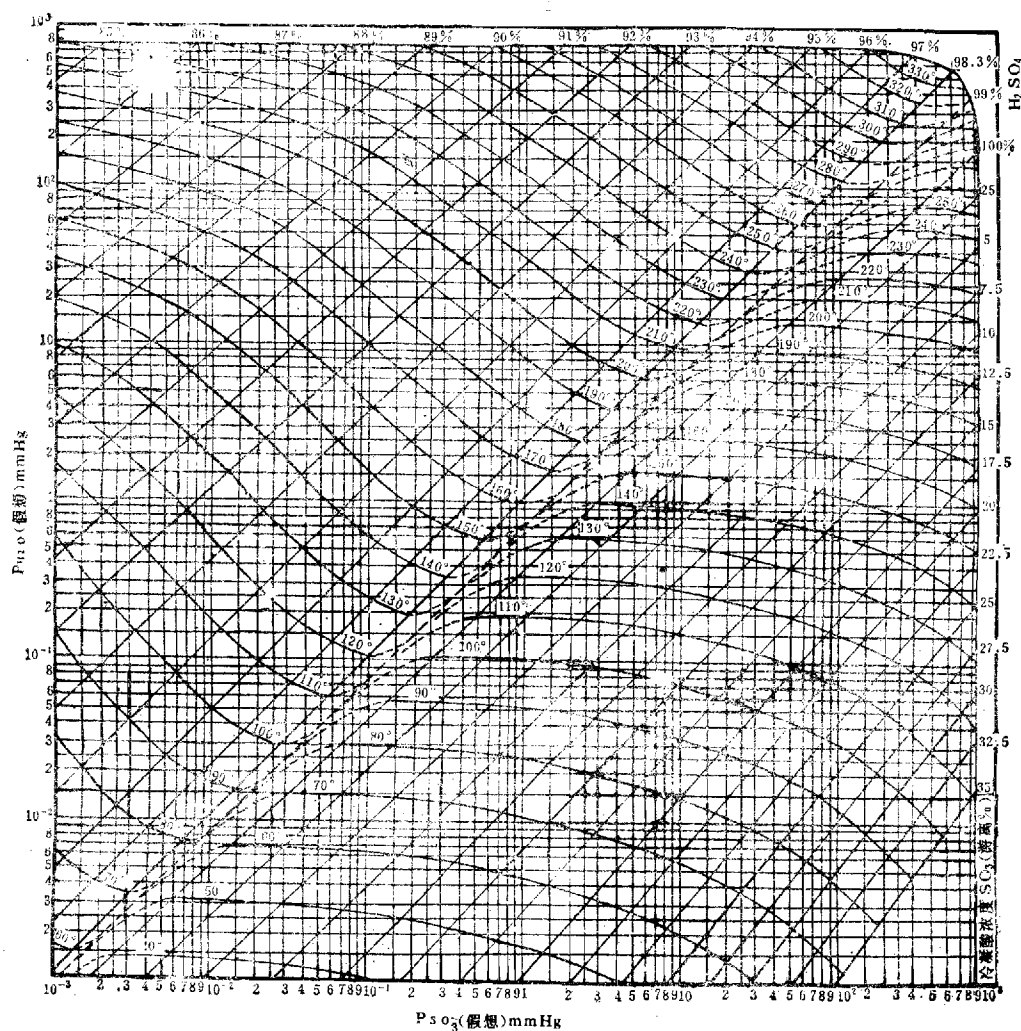


图1-3-7 含SO₂湿气体的露点温度图

(1mmHg = 1.333 × 10² Pa)

【说明】如果硫铁矿中燃烧的部分仅是其中的硫,含硫原料各种热效应可用式1-3-26表示;各种含硫原料燃烧时的热效应见表1-3-12。

【公式】
$$Q = AC_S \eta_S = AC_{S(\text{烧})} \quad (1-3-26)$$

式中 Q ——反应热效应(kcal)

C_S ——硫铁矿中含硫量(%)

η_S ——硫的利用率(%)

$C_{S(\text{烧})}$ ——燃烧过程中烧出的硫量(%)

$$C_{S(\text{烧})} = C_S \eta_S$$

A ——系数,其值见表1-3-12。

②燃烧1kg含碳硫铁矿释出的热量

【公式】

$$Q = AC_{S(\text{烧})} + 78.3C_c \quad (1-3-27)$$

式中 Q —— 热量(kcal) C_c —— 硫铁矿中含碳量(%)

(2) 硫铁矿的燃烧时间计算

【说明】硫铁矿的成层燃烧时间 τ 可用式1-3-28计算, 但该式仅可作为相对计算之用。

【公式】

$$\tau = \frac{d[1 - \sqrt[3]{(1 - \eta)^2}]}{K_0 e^{-\frac{E}{RT}} C_{O_2}^m \sigma^n} \quad (1-3-28)$$

式中 τ —— 必要的燃烧时间 d —— 块矿的平均直径 η —— 硫的利用率(烧出率) E —— 表观活化能 e —— 自然对数的底 R —— 常数, 1.93kcal T —— 绝对温度(°K) C_{O_2} —— 氧的平均浓度 σ —— 燃烧层厚度的倒数 K_0, m, n —— 系数, 其值取决于物料的混合程度和炉的结构特性; K_0 同时取决于原料的性质(3) 硫铁矿的燃烧反应速度常数 K 【说明】在悬浮状态下燃烧粉状硫铁矿的燃烧速度的视在常数可用式1-3-29表示。 K 与温度的关系见表1-3-13。

表1-3-12 各种含硫原料燃烧时的热效应(1kcal=4.1868kJ)

原料及燃烧反应	反应热 效 应 (kcal)	释出热量(kcal/kg)			系 数 A
		参加反应 的纯物质	燃 烧 的 硫	得到的 SO ₂	
硫铁矿					
$4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2$	790.52	1644	3080	1540	30.8
$3FeS_2 + 8O_2 = Fe_3O_4 + 6SO_2$	566	1575	2940	1470	29.4
一硫化铁					
$4FeS + 7O_2 = 2Fe_2O_3 + 4SO_2$	591.41	1680	1640	2320	46.4
$3FeS + 5O_2 = Fe_3O_4 + 3SO_2$	416.65	1575	4340	2170	43.4
硫 磺(正交晶)					
$S + O_2 = SO_2$	70.96	2217	2217	1109	22.17
硫化氢					
$2H_2S + 3O_2 = 2H_2O + 2SO_2$	249.8	3680	3920	1960	—
闪锌矿					
$2ZnS + 3O_2 = 2ZnO + 2SO_2$	225	1150	3500	1750	35.0
磁硫铁矿					
$4Fe_7S_8 + 53O_2 = 14Fe_2O_3 + 32SO_2$	4200	1627	4110	2055	41.1

【公式】

$$K = \frac{3.3 \lg \frac{S_H}{S_K}}{\tau} \quad (1-3-29)$$

式中 K —— 反应速度常数

S_H —— 硫铁矿中硫的最初含量(%)

S_K —— 矿渣中硫的最终含量(%)

τ —— 反应时间, 见式1-3-28

(4) 硫铁矿的燃烧温度及炉壁散失热量

【说明】硫铁矿在空气中燃烧时的理论燃烧温度见表1-3-14; 但实际可能达到的燃烧温度要比理论值低, 因为需要考虑炉壁向周围介质中损失的热量, 见式1-3-30。

表1-3-13 粉状硫铁矿的燃烧速度与温度的关系

燃烧温度(°C)	燃烧速度系数	燃烧温度(°C)	燃烧速度系数
500	1.0	800	3.86
600	1.8	900	4.92
700	2.84	1000	7.75

表1-3-14 硫铁矿在空气中的理论燃烧温度

气体中的 SO ₂ 含量 (%)	理论燃烧温度(°C)		气体中的 SO ₂ 含量 (%)	理论燃烧温度(°C)	
	不计算燃烧 损失的热	计算燃烧 损失的热		不计算燃烧 损失的热	计算燃烧 损失的热
16.2	2020	1590	7	944	800
15	1885	—	6	814	753
14	1790	—	5	706	698
13	1670	—	4	566	—
12	1510	1345	3	410	—
11	1410	—	2	283	—
10	1320	1125	1	85	—
9	1180	—			
8	1070	428			

【公式】

$$Q = \alpha_{\text{总}} F_{\text{壁}} (t_{\text{壁}} - t_2) \quad (1-3-30)$$

式中 Q —— 损失于周围介质中的热量(kJ/h)

$F_{\text{壁}}$ —— 炉壁表面积(m²)

$\alpha_{\text{总}}$ —— 给热系数[kJ/(m²·h·°C)]; 当壁面温度为50~350°C时, 作近似计算: $\alpha_{\text{总}} = 33.5 + 0.21t_{\text{壁}}$

$t_{\text{壁}}$ —— 炉壁表面温度(°C), 当内衬300mm厚的耐热混凝土时, 经试验在沸腾层部位为180°C, 在上部为80~108°C。

t_2 —— 周围介质的温度(°C)。

(二) 沸腾焙烧炉的计算

1. 炉床的焙烧强度 $U_{\text{床}}$

【说明】单位炉床面积上每日焙烧的干矿量[t干矿/(m²·d)]称为炉床的焙烧强度。硫

铁矿沸腾炉的焙烧强度取决于矿石的粒度,因为粒度较大的矿粒可以适应较高的沸腾层操作气速,以含硫35%的矿石计算(也可以用硫来计算),可以分三种情况:

- (1)全烧尾砂时,焙烧强度一般选用8~14t(含35%的硫)/(m²·d);
- (2)全烧粉碎的块矿,例如粉碎后通过3毫米筛网的矿粒,焙烧强度可取25~30t(含35%的硫)/(m²·d);
- (3)破碎的块矿和尾砂混合使用时,可根据两者比例不同,大致选择15~25t(含35%的硫)/(m²·d);

2. 沸腾层操作气速 w

【公式】

$$w = \frac{U_{\text{床}} C_s \eta_s T}{33700 C_{\text{SO}_2}} \quad (1-3-31)$$

式中 $U_{\text{床}}$ ——焙烧强度[t/(m²·d)]

C_{SO_2} ——炉气中 SO₂ 浓度(体积%)

w ——操作温度下气体速度(m/s)

C_s ——干矿含硫量(%)

η_s ——硫利用率(%)

T ——气体的绝对温度(K)

【例】假定 $C_s = 35\%$, $\eta_s = 0.986$, $C_{\text{SO}_2} = 13\%$, $T = 850 + 273 = 1123^\circ\text{K}$, 则不同焙烧强度下的速度值为:

焙烧强度[t/(m ² ·d)]	8	10	15	20	25	30	35	40
操作气速(m/s)	0.71	0.885	1.13	1.77	2.21	2.65	3.1	3.54

3. 炉膛的容积强度 $U_{\text{容}}$

【说明】炉膛的容积强度 $U_{\text{容}}$ [t/(m³·d)] 是衡量炉子生产能力的指标之一。

【公式】

$$U_{\text{容}} = \frac{33700 C_{\text{SO}_2}}{C_s \eta_s T \tau} \quad (1-3-32)$$

式中 $U_{\text{容}}$ ——容积强度[t/(m³·d)]

τ ——气体在炉膛内停留时间(s), 计算见式1-3-28

其它符号含义及单位同式1-3-31

【例】假定 $C_s = 35\%$, $\eta_s = 0.986$, $C_{\text{SO}_2} = 13\%$, $T = 850 + 273 = 1123^\circ\text{K}$, 当 τ 在5~12s 范围内, $U_{\text{容}}$ 值计算如下:

停留时间(s)	5	6	7	8	9	10	11	12
容积强度[t(35%硫)/(m ³ ·d)]	2.26	1.88	1.61	1.41	1.26	1.13	1.03	0.94

4. 沸腾层的终端速度 $w_{\text{终}}$

【说明】终端速度是指对于一定粒度的颗粒,其维持流化床的最大极限速度,若越过此速度将被气流带出。终端速度的计算,可根据试验得到不同的公式,结果也各不相同。下面推荐的 Allen 公式核算终端速度 $w_{\text{终}}$, 适用范围为雷诺准数 $Re = 1 \sim 500$, $w_{\text{终}}$ 一般等于 1.67~4倍的操作气速。

【公式】

$$w_{终} = \left[\left(\frac{4}{225} \right) \frac{(\gamma_{粒} - \gamma_{气})^2 g^2}{\gamma_{气} \mu} \right]^{1/3} \Phi_p D_p \times 10^{-3} \quad (1-3-33)$$

式中 $w_{终}$ ——终端速度(m/s)

$\gamma_{粒}$ ——颗粒容重(kg/m³)

$\gamma_{气}$ ——炉气容重(kg/m³)

g ——重力加速度(9.81m/s²)

μ ——炉气的粘度[kg/(m·s)]

Φ_p ——颗粒的形状系数,取0.7

D_p ——颗粒的平均直径(mm)

【例】假定沸腾炉的操作温度为850℃,炉气粘度 $\mu = 446 \times 10^{-7}$ kg/(m·s), $\gamma_{粒} = 4600$ kg/m³, $\gamma_{气} \approx 0.33$ kg/m³,求终端速度。

解:将已知数据代入式1-3-33得:

$$w_{终} = \left[\frac{4}{225} \times \frac{(4600 \times 0.33)^2 \times 9.81^2}{0.33 \times 446 \times 10^{-7}} \right]^{1/3} \times 0.7 D_p \times 10^{-3}$$

$$w_{终} = 9.45 D_p \quad (\text{m/s})$$

由上式计算出不同直径时的 $w_{终}$ 值:

D_p (mm)	0.12	0.2	0.3	0.4
$w_{终}$ (m/s)	1.13	1.89	2.83	3.78
Re	~1	2.8	6.3	11.2

5. 沸腾层的起始速度 $w_{起}$

【说明】起始速度是指床层开始流态化的最小限制速度。M·Leva 公式适用于 $Re < 10$ 的范围。

【公式】

$$w_{起} = 1.38 \times 10^{-5} \frac{D_p^{1.82} [\gamma_{气} (\gamma_{粒} - \gamma_{气})]^{0.94}}{\gamma_{气} \mu^{0.88}} \quad (\text{m/s}) \quad (1-3-34)$$

式中符号含义及单位同式1-3-33

【例】在上例中, $w_{起}$ 的计算如下:

$$w_{起} = 1.38 \times 10^{-5} \frac{D_p^{1.82} [0.33(4600 - 0.33)]^{0.94}}{0.33 \times 0.0446^{0.88}}$$

$$w_{起} = 0.635 D_p^{0.82} \quad (\text{m/s})$$

由上式计算出不同颗粒直径下的 w 值:

D_p (mm)	0.12	0.2	0.3	0.4
$D_p^{0.82}$	0.021	0.053	0.112	0.188
Re	~0.012	0.05	0.158	0.352
$w_{起}$ (m/s)	0.0133	0.0337	0.071	0.119

6. 沸腾层的压力降 $\Delta P_{沸}$

(1) 沸腾层的压力降 $\Delta P_{沸}$

【公式】

$$\Delta P_{\text{沸}} = h_{\text{沸}} \gamma_{\text{沸}} \quad (\text{Pa}) \quad (1-3-35)$$

$$\gamma_{\text{沸}} = \gamma_{\text{粒}}(1 - \varepsilon_{\text{沸}}) \quad (\text{N/m}^3) \quad (1-3-36)$$

式中 $h_{\text{沸}}$ ——沸腾后某一风量下沸腾层高度(m)

$\gamma_{\text{沸}}$ ——沸腾料层的重度(N/m^3)

$\gamma_{\text{粒}}$ ——床层中固体物料的真重度(N/m^3)

$\varepsilon_{\text{沸}}$ ——沸腾层在某一气流速度下的空隙率,其值可查图1-3-8

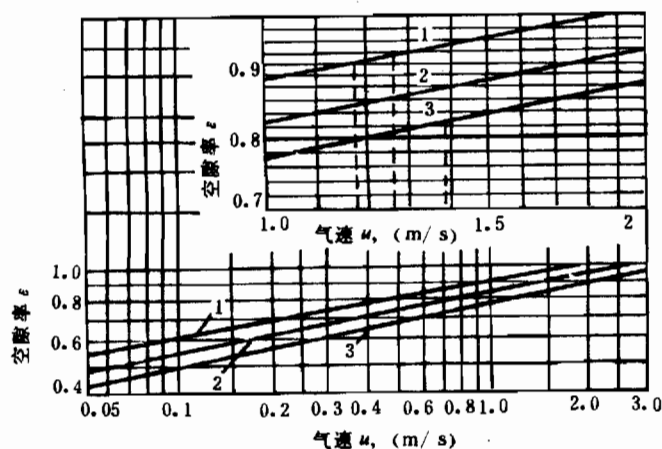


图1-3-8 气速与空隙率的关系

1—颗粒平均直径0.2mm 2—颗粒平均直径0.3mm
3—颗粒平均直径0.4mm

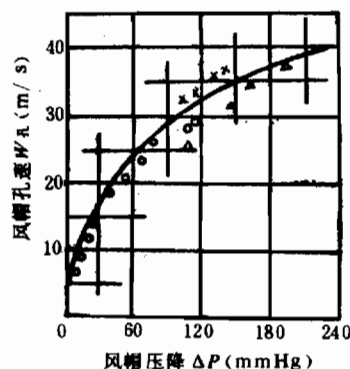


图1-3-9 风帽孔速与压力降的关系

(2) 总压力降 ΔP

【说明】由于风帽及进气箱的压力降一般约占 $\Delta P_{\text{沸}}$ 的10~15%,故总压力降可用式1-3-37表示

$$\Delta P = (1.10 \sim 1.15) h_{\text{沸}} \gamma_{\text{沸}} \quad (1-3-37)$$

式中 ΔP ——风帽总压降(Pa), ΔP 与通过小孔的风速有关(见图1-3-9)

其它符号及含义同上

7. 颗粒平均直径 D_p

【公式】

$$D_p = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{d_i}} \quad (\text{mm}) \quad (1-3-38)$$

式中 X_i ——某一尺寸颗粒成分(%)

d_i ——该成分的颗粒直径(mm),其值为相邻筛孔孔径 d_1 与 d_2 的乘积的开平方值

$$d_i = \sqrt{d_1 \cdot d_2}$$

8. 颗粒的形状系数 Φ_p

【说明】球形颗粒的形状系数为1,其他各种固体的形状愈不规则, Φ_p 值愈小, Φ_p 与固定层的空隙率的关系见式1-3-39。

【公式】

$$\Phi_p = \sqrt{\frac{1 - \epsilon_{\text{固}}}{11.1 \epsilon_{\text{固}}^3}} \quad (1-3-39)$$

式中符号含义及单位同前。

【例】当 $\epsilon_{\text{固}} = 0.5$ 时, 得 $\Phi_p = 0.6$ 。

9. 矿在沸腾层内停留时间 t

【公式】

$$t = \frac{G_{\text{层}}}{G} \quad (\text{h}) \quad (1-3-40)$$

$$G_{\text{层}} = F_{\text{床}} h_{\text{固}} \gamma_{\text{固}} \quad (\text{kg}) \quad (1-3-41)$$

式中 t —— 停留时间(h)

$G_{\text{层}}$ —— 沸腾层内颗粒重量(kg)

G —— 每小时加料量(kg/h)

$F_{\text{床}}$ —— 沸腾床面积(m^2)

$h_{\text{固}}$ —— 固定床高度(m)

$\gamma_{\text{固}}$ —— 颗粒的假容重(kg/m^3)

10. 沸腾层内冷却设施的传热系数 α

【说明】沸腾层内冷却设施的传热系数根据实测的经验数据分别如下:

用冷却水箱或冷却水夹套时, α 约在 $628 \sim 837 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ [$150 \sim 200 \text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$];

管式冷凝器由于水流速度较大, α 可达 $1047 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ [$250 \text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$];

采用中压废热锅炉时, 沸腾层内蒸发管束的 α 值一般可与管式冷凝器相同。

11. 烟尘率 β

【说明】由炉气带出的炉灰(即烟尘)量, 基本上取决于矿石的颗粒径级及炉气的速度。

【公式】

$$\beta = \frac{ZV_{\text{气}}}{10X} \quad (1-3-42)$$

式中 β —— 由炉气带出的炉灰占矿渣总量的百分数(即烟尘率), 一般取 $70 \sim 90\%$

X —— 矿渣产率(%)

Z —— 炉气中的烟尘含量(g/m^3)

$V_{\text{气}}$ —— 焙烧 1kg 干矿产生的湿炉气容积(m^3/kg)

二、炉气的净化和冷却计算

(一) 干法除尘计算

1. 除尘室矿尘的沉降速度 V

【说明】当气流处于层流状态时, 矿尘的沉降速度可用 Stokes 定律计算。

【公式】

$$V = \frac{(\gamma - \gamma_{\text{气}})d^2}{18\mu} \approx \frac{\gamma d^2}{18\mu} \quad (1-3-43)$$

式中 V —— 沉降速度(m/s)
 γ —— 矿尘的容重(kg/m³)
 $\gamma_{\text{气}}$ —— 炉气的容重(kg/m³)
 d —— 矿尘颗粒的直径(m)
 μ —— 炉气的粘度([kg·s)/m²])

【例】当炉气的温度为400℃,炉气的粘度为0.0315cP[$=\frac{0.0315}{9800}=322 \times 10^{-8}(\text{kg} \cdot \text{s})/\text{m}^2$],矿尘的容重为500kg/m³时,求直径为15μm的矿尘的理论沉降速度。

$$\text{解: } V = \frac{\gamma d^2}{18\mu} = \frac{500 \times (15 \times 10^{-6})^2}{18 \times 322 \times 10^{-8}} \\ = 0.0194(\text{m/s})$$

2. 旋风除尘器的计算

【说明】旋风除尘器主要部分的尺寸用圆柱体内径的倍数来表示,设计时主要是求出圆柱体直径,计算顺序和公式见表1-3-15。

【公式】见表1-3-15。

以上式中符号含义及单位如下:

V —— 被净化气体的体积流量(m³/s)
 $\gamma_{\text{气}}$ —— 炉气容重(kg/m³)
 ΔP —— 除尘器的阻力(mmH₂O)
 ξ_{λ} —— 以进口风速计的流体阻力系数

表1-3-15

旋风除尘器计算公式

	以进口风速 w_{λ} 计算	以圆柱体截面平均假气速 $W_{\text{柱}}$ 计算
按阻力设计	$W_{\lambda} = \sqrt{\frac{\Delta P \cdot 2g}{\gamma_{\text{气}} \xi_{\lambda}}}$ $A_{\lambda} = \frac{V}{W_{\lambda}}$ $A_{\lambda} = abD^2$ $D = \sqrt{\frac{A_{\lambda}}{ab}}$	$W_{\text{柱}} = \sqrt{\frac{\Delta P \cdot 2g}{\gamma_{\text{气}} \xi_{\text{柱}}}} \quad (1-3-44)$ $AD = \frac{V}{W_{\text{柱}}}$ $D = \sqrt{\frac{4AD}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.0826 \xi_{\text{柱}} \gamma_{\text{气}} V^2}{\Delta P}}$ $= 0.535 \sqrt{\frac{\xi_{\text{柱}} \gamma_{\text{气}} V^2}{\Delta P}}$
按适宜的气速设计	$A_{\lambda} = \frac{V}{W_{\lambda}}$ $D = \sqrt{\frac{A_{\lambda}}{ab}}$ $\Delta P = \xi_{\lambda} \frac{\gamma_{\text{气}} W_{\lambda}^2}{2g}$	$AD = \frac{V}{W_{\text{柱}}} \quad (1-3-45)$ $D = \sqrt{\frac{4AD}{\pi}}$ $\Delta P = \xi_{\text{柱}} \frac{\gamma_{\text{气}} W_{\text{柱}}^2}{2g}$

$\xi_{\text{柱}}$ —— 以圆柱体截面平均假气速计的流体阻力系数

$W_{\text{柱}}$ —— 圆柱体截面平均假气速(m/s)

W_{λ} —— 进口风速(m/s)

D —— 除尘器圆柱体内径(m)

a —— 入口宽为圆柱体内径的倍数

b 入口高为圆柱体内径的倍数

g 重力加速度(9.81m/s^2)

A_i 进气口截面积(m^2)

【附表】 不同型号的旋风除尘器工艺参数见表1-3-16

表1-3-16

旋风除尘器工艺参数

D 的倍数 结构尺寸		型号	标准型	11H ₂₄	11H ₁₅	渐开线进口	
						C ₁ 11K ₂ -11H-33	高效型
进口形式			普通切向	螺旋面24°	螺旋面15°	渐开线180°	渐开线180°
圆柱直径 mm	我国现有	~1400	200~1600	200~1400	350~750	500~1500	
D 的范围	苏联规定	—	200~1800	200~1800	300~3000	—	
出气管内径(m)	d	0.5	0.6	0.6	0.334	0.334~0.5	
进气管宽(m)	a	0.25	0.2, 0.26	0.2, 0.26	0.264	0.2~0.269	
进气管高(m)	b	0.5	1.11	0.66	0.535	0.446, 0.5	
圆柱高(m)	h_1	2	2.11	2.26	0.535	0.5~1.5	
圆锥高(m)	h_2	2	1.75	2	3	2.5, 3.5	
本体总高(m)	H	4	3.86	4.26	3.54	4.4, 146	
排灰口内径(m)	d_e	0.25	0.3	0.3	0.334	0.327~0.38	
出口管和进口管的距离(m)	S	0.125	0.6	0.78		0~0.02	
出口管插入深度(m)	L	0.625	1.71	1.44	0.535	0.446~0.52	
出口管外部高(m)	h_3	—	0.4	0.3	0.2~0.3	0.214, 0.218	
进气管长(m)	L	—	0.6	0.6	0.6	0.57, 0.6	
法兰盘高度	h_4	—	0.24	0.24~0.32	0.1	0.1	
进口截面积	A_i	$0.25 D^2$	$0.222 D^2$	$0.132 D^2$	$0.1413 D^2$	$(0.1~0.135) D^2$	
出口截面积	A_e	$0.196 D^2$	$0.2826 D^2$	$0.2826 D^2$	$0.0875 D^2$	$(0.083~0.196) D^2$	
入口风速(m/s)		20~30	12~18	16~25	18~28	20~32	
圆柱体假速度(m/s)		3.2~4.8	3.3~5	2.7~4.3	3.24~5	2.55~5	
压力率(mmH ₂ O)		~100	40~80	60~120	200~350	80~350	
实际阻力系数	ξ_1	7.4~8.4	8~10	~5.7	15.5	4~14.5	
	$\xi_{挂}$	—	100~125	~200	~500	—	
计算阻力系数	ξ_1	7.5~9	9~10	5.3~5.9	18~25	9~16	
资料提出之值:	ξ_1	8	6.4	4.5	19.4	—	
	$\xi_{挂}$	—	80	160	600	—	
	$\Delta P/\gamma_{气}$		30~60	50~100	120~240		
除尘效率 η	(%)	83	70~95	60~95	70~90	59~90	
入口含尘(g/标准 m ³)			50~250	10~250	2~10		
出口含尘(g/标准 m ³)			10~60	3~50	0.5~2	2~5	

(二)湿法净化的计算

1. 空心洗涤塔的计算

【说明】空心洗涤塔的特点是工作稳定,适应性强,操作方便,但设备庞大,投资多,除尘效率较低,不能单独用于沸腾炉炉气的除尘。

(1) 空塔体积 V

【公式】

$$V = \frac{Q}{K\Delta t} \quad (\text{m}^3) \quad (1-3-46)$$

式中 Q —— 从气体中取出的热量(kJ/h)

Δt —— 平均温度($^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2.303 \lg \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}$$

Δt_1 —— 进塔气体与出塔液体的温差($^{\circ}\text{C}$)

Δt_2 —— 出塔气体与出塔液体的温差($^{\circ}\text{C}$)

K —— 容积传热系数[kJ/($\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)], 对于焙烧硫铁矿的炉气, 入口温度 400°C , 出口温度 $65 \sim 70^{\circ}\text{C}$, 采用离心式喷嘴, 淋洒液压力 $1.5 \sim 2.0 \text{ atm}$ ($101300 \sim 151950 \text{ Pa}$), 气流速度为 0.8 m/s 的情况下, K 值一般为 $160 \sim 200 \text{ kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$ [$670 \sim 837 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$], 也有采用 $150 \sim 270 \text{ kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$ [$628 \sim 1130 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$], K 值可用下式计算:

$$K = \beta(100 + 450 \frac{G}{L})(1 + \frac{t_{\text{均}}}{100}) [\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})] \quad (1-3-47)$$

$\frac{G}{L}$ —— 淋洒系数(气/液重量比)

$t_{\text{均}}$ —— 气体的平均温度($^{\circ}\text{C}$)

β —— 逆流时其值为1, 并流时为2, K 值与流速之间有下列关系:

$$K = K'(\frac{W}{W'})^{0.76} \quad (1-3-48)$$

2. 喷淋器的生产能力 Q

【说明】喷淋器多用离心式喷头, 有单向和双向两种形式。

【公式】

$$Q = KdP^m \quad (\text{kg/h}) \quad (1-3-49)$$

式中 d —— 喷孔直径(mm)

P —— 水的表压力(atm)

$K \cdot m$ —— 系数, 与液体的性质有关, 对于水, $m = 0.5, K = 12$

3. 填料洗涤塔所需填料面积 F

【说明】沸腾炉炉气的净化较少用填料洗涤塔。

【公式】

$$F = \frac{Q}{K\Delta t}$$

式中 Q 、 Δt —— 含义及单位见式1-3-46

K —— 传热系数[kJ/($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)], 一般取 $125.6 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$

4. 泡沫洗涤塔的计算

【说明】近年来, 在沸腾炉炉气净化方面较多地采用泡沫洗涤塔, 因为它具有效率高, 结构简单, 有一定的适应性和稳定性, 且具有传热传质性能好, 耗水量少等优点。

(1) 塔板层数的计算

【说明】一般用图解法确定理论塔板数。即在温度与热焐图上作饱和炉气的平衡曲线及操作线,然后按梯级法求得理论塔板数,见图1-3-10。

①平衡曲线的绘制

【说明】在一定温度下,查饱和水蒸汽表可得该温度时的饱和水蒸汽压力,取饱和度值(一般取100%),然后根据式1-3-50和式1-3-51求得湿含量值和热焐值,由此计算在各种不同温度下的热焐值并可作出平衡曲线。

【公式】

$$X = \frac{M_{\text{水}}}{M_{\text{炉气}}} \times \frac{\Phi P_{\text{水}}}{P - \Phi P_{\text{水}}} \quad (1-3-50)$$

$$\text{或 } X = \frac{M_{\text{水}}}{22.4} \times \frac{\Phi P_{\text{水}}}{P - \Phi P_{\text{水}}}$$

$$I = C_{\text{炉气}} t + (2491 + C_{\text{水}} t) X \quad (1-3-51)$$

式中 X —— 饱和炉气在温度 t 的时的湿含量(kg 水/kg 炉气)

P —— 湿炉气的总压力(kPa)

$P_{\text{水}}$ —— t °C时饱和水蒸汽压力(kPa)

Φ —— 饱和度(%)

$M_{\text{水}}$ —— 水的摩尔质量

$M_{\text{炉气}}$ —— 干炉气的摩尔质量

I —— 温度 t 时炉气的热焐值(kJ/kg)

$C_{\text{炉气}}$ —— 炉气的比热[kJ/(kg·°C)]

t —— 饱和炉气的湿球温度(°C)

$C_{\text{水}}$ —— 水蒸汽的比热[kJ/(kg·°C)]

2491 —— 0°C时水的汽化潜热(kJ/kg)

②操作曲线的绘制

【说明】按操作线方程式1-3-52,作出 $I-t$ 图。操作线的斜率为 $\frac{IC_{\text{液}}}{G}$, 因此,操作线为一直线,只要求出塔顶状态(A点)与塔底状态(B点)就可绘出操作线 AB。

【公式】

$$G(I_1 - I_2) = LC_{\text{液}}(t_2 - t_1) \quad (1-3-52)$$

式中 G —— 流经洗涤塔的干炉气量(kg/h)

L —— 进入洗涤塔的液体量(kg/h)

t_1 —— 液体的最初温度(°C)

t_2 —— 液体的最终温度(°C)

I_1 —— 气体的最初热焐(kJ/kg)

I_2 —— 气体的最终热焐(kJ/kg)

$C_{\text{液}}$ —— 液体的比热[kJ/(kg·°C)]

③理论塔板数求算

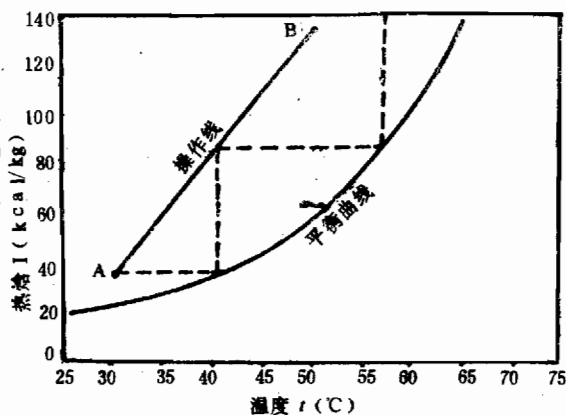


图1-3-10 炉气的温度(t)-热焐(I)图

【说明】以 A 点起在操作线与平衡线之间用梯级法作梯级,直至 t_2 为止,所得梯级数即为理论塔板数。

④实际塔板数的计算

【公式】
$$n_{\text{实}} = \frac{n_{\text{理}}}{\eta} \quad (1-3-53)$$

式中 $n_{\text{实}}$ ——实际塔板数

$n_{\text{理}}$ ——理论塔板数

η ——塔板平均效率(对于传热过程称为塔板的热效率),单板泡沫塔其热效率为 70~90%,当泡沫层高度较高时,热效率可达 95%,热效率 η 可用下式计算:

$$\eta = 59 + h_0 \quad (1-3-54)$$

h_0 ——原液层高度(计算方法见后),当空塔气速为 1.5~3.0m/s 时, $h_0 = 10 \sim 35\text{mm}$

(2)气体流速和塔径的确定

【说明】气体的空塔速度在 1.6~2.6m/s 范围内,除尘降温效果均能达到生产要求。设计中一般取 2m/s。生产负荷变动 20% 时尚能保持良好的稳定性。

塔径需根据空塔气速来确定,但是对于有内溢流装置的塔,则应考虑塔板支架(一般占塔截面积的 11%~18% 左右)及溢流装置占据的面积。

(3)溢流装置的计算

【说明】一般采用内溢流式。溢流管和溢流槽的截面积按入塔的全部液体量考虑。

①溢流管面积 $F_{\text{管}}$

【公式】
$$F_{\text{管}} = \frac{L}{w_1} \quad (\text{m}^2) \quad (1-3-55)$$

式中 L ——按热量平衡计算的液体淋洒量(m^3/s)

w_1 ——液体在溢流管中的速度(m/s)

②溢流槽截面积 $F_{\text{槽}}$

【公式】
$$F_{\text{槽}} = \frac{L}{w_2} + F_{\text{管}} + 0.02 \quad (\text{m}^2) \quad (1-3-56)$$

式中 w_2 ——液体在溢流槽中的速度(m/s)

其它同上

③塔截面积 F

【公式】
$$F = F_{\text{塔}} + F_{\text{管}} + F_{\text{槽}} \quad (\text{m}^2) \quad (1-3-57)$$

式中 $F_{\text{塔}}$ ——塔板面积,包括塔板支架所占面积(m^2)

其它同上

④圆形塔直径 D

【公式】
$$D = \sqrt{\frac{F}{0.785}} \quad (\text{m}) \quad (1-3-58)$$

式中符号含义及单位同上

⑤泡沫层高度 H

【说明】泡沫层高度一般取 100~200mm,用于除尘时可取下限,用于其他过程时可取上限。

(4) 筛孔直径 d

【说明】筛孔直径须符合可能获得最大的相际接触面和小的流体阻力的要求。对除尘、除雾一般取5~7mm；对传热、吸收一般用4~6mm。筛孔直径与筛孔中心距之间有如下关系。

【公式】
$$\frac{t}{d} = 2 \sim 2.5 \quad (1-3-59)$$

式中 t —— 筛孔中心距(mm)

d —— 筛孔直径(mm)

【讨论】当 $t/d < 2$ 时，虽然阻力很低，但液体泄漏快，泡沫层低，传热传质均差。

(5) 筛板自由截面积 S_0

【说明】塔板自由截面积 S_0 在10~18%之间比较合适，对于用作除尘的泡沫塔， S_0 可取至25%。

①按等腰三角形排列的筛孔 S_0

【公式】

$$S_0 = 78.5 \left(\frac{d}{t} \right)^2 \quad (\%) \quad (1-3-60)$$

式中符号及含义同上

②按等边三角形排列的筛孔 S_0

【公式】

$$S_0 = 90.7 \left(\frac{d}{t} \right)^2 \quad (\%) \quad (1-3-61)$$

式中符号及含义均同上

(6) 气体通过筛孔的速度 $w_{\text{孔}}$

【说明】塔板的自由截面积确定后，气体通过小孔的速度 w 也就决定了。

对于吸收作业， $w_{\text{孔}} > 11\text{m/s}$

对于解吸作业， $w_{\text{孔}} > 13\text{m/s}$

对于传热过程， $w_{\text{孔}} = 10 \sim 15\text{m/s}$

对于除尘作业， $w_{\text{孔}} = 6 \sim 13\text{m/s}$

(7) 塔板厚度

【说明】单纯从工艺角度要求，塔板厚度以4~6mm 为最好，阻力较小，如钢制塔板可取此厚度；但其他材料由于强度及加工要求，其厚度一般可达15~20mm，或更大些。

(8) 泡沫塔的流体阻力 ΔP

【说明】在忽略泡沫塔内部摩擦阻力的情况下，气体通过泡沫塔的流体阻力为塔板阻力 $\Delta P_{\text{塔}}$ ，气体进口阻力 $\Delta P_{\text{进}}$ 及气体出口阻力 $\Delta P_{\text{出}}$ 三者之和。 $\Delta P_{\text{塔}}$ 包括干塔板阻力 ΔP_1 和泡沫层阻力 ΔP_2 。

①干塔板阻力 ΔP_1

【公式】

$$\Delta P_1 = \Phi \frac{\gamma_{\text{气}}}{2g} w_{\text{孔}}^2 \eta \quad (\text{Pa}) \quad (1-3-62)$$

式中 ΔP_1 —— 干塔板阻力(Pa)

$\gamma_{\text{气}}$ —— 气体重度(N/m^3)

w_h ——气体通过筛孔时的速度(m/s)

g ——重力加速度(9.81m/s²)

Φ ——阻力系数,当板厚 $\delta=5\text{mm}$ 时,干塔板阻力最小,此时 $\Phi=1.45$,此时:

$$\Delta P_1 = K_c \times 1.45 \times \frac{\gamma_g}{2g} w_h^2 \quad (1-3-63)$$

K_c ——与塔板厚度 δ 有关的系数,见表1-3-17

②泡沫层阻力 ΔP_2

表1-3-17

与塔板厚度 δ 有关的系数 K_c

δ (mm)	1	3	5	7.5	10	15	20
K_c	1.25	1.1	1.0	1.15	1.3	1.5	1.7

【公式】

$$\Delta P_2 = 325H - 23w_{塔} + 43.5 \quad (1-3-64)$$

式中 ΔP_2 ——泡沫层阻力(mmH₂O)(1mmH₂O=9.81Pa)

H ——泡沫层高度(m)

$w_{塔}$ ——空塔速度(m/s)

③气体进口阻力 $\Delta P_{进}$,出口阻力 $\Delta P_{出}$ 可用局部阻力公式计算。

5. 文氏管洗涤器的计算

【说明】文氏管用于沸腾炉炉气的净化和冷却、具有结构简单、材料少、投资省、操作管理方便、效率高等优点;缺点是阻力大、生产负荷变动大时不易控制。目前,多采用二级文氏管串联。文氏管后需设置旋风除沫器,若采用带有文氏管的泡沫塔,即所谓文——泡净化流程,此时文氏管后可不设置旋风除沫器。

(1)喉管气速的确定

【说明】捕集由于升华物冷凝或高度分散的微尘或雾滴时(粒子小于1 μm),喉管气速为90~120m/s;捕集由于机械粉碎而形成的液滴和粉尘时(粒子大于3~5 μm),喉管气速为70~90m/s;进行气体冷却或从其中吸收某些蒸汽和气体的组分时,喉管气速为40~70m/s,其它用途的喉管气速如表1-3-18。

表1-3-18

文氏管洗涤器的喉管气速

用 途	气速(m/s)	压力降(Pa)
降温	40~60	981~1962
除尘	65~75	2453~3434
除雾	75~90	4415~5886

(2)喉管直径 d

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0.785w}} \quad (\text{m}) \quad (1-3-65)$$

式中 Q ——通过喉管的气体流量(m³/s)

w ——喉管气速(m/s)

(3)喉管长度 L

【说明】喉管长度一般取 $L = 0.8 \sim 1.5d$ (d 为喉管直径)。

(4)收缩管长度 L_1

【公式】

$$L_1 = \frac{D-d}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (1-3-66)$$

式中 D —— 进口管直径(mm)

d —— 喉管直径(mm)

α —— 收缩管的中心角,一般在 $20 \sim 30^\circ$ 之间,常用 23° ,角度愈大压力降也愈大。当

$\alpha = 23^\circ$ 时:

$$L_1 = 2.46(D-d) \quad (1-3-67)$$

(5) 扩散管长度 L_2

【公式】

$$L_2 = \frac{D-d}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \quad (1-3-68)$$

式中 β —— 扩散管的中心角, $\beta = 6 \sim 8^\circ$, 小型的 $4 \sim 6^\circ$, 一般取 7° , 此时:

$$L_2 = 8.17(D-d) \quad (1-3-69)$$

(6) 压力降

【说明】文氏管的压力降可按下述经验公式计算。

① 第一级文氏管的压力降 ΔP_1

【公式】

$$\Delta P_1 = 0.0174 \rho_2 u_2 u_{\text{均}} + 9 \times 10^{-4} \times \frac{\rho_2 u_2 L}{A} \quad (1-3-70)$$

式中 ρ_2 —— 出口气体重度(N/m^3)

u_2 —— 喉管出口气速(m/s)

$u_{\text{均}}$ —— 喉管平均气速(m/s)

L —— 喷水量(kg/min)

A —— 喉管截面积(m^2)

ΔP_1 —— 第一级文氏管压力降(Pa)

② 第二级文氏管压力降 ΔP_2

【公式】

$$\Delta P_2 = (0.34 + 1.06 L') \frac{\rho u^2}{2g} \quad (\text{Pa}) \quad (1-3-71)$$

式中 L' —— 液气比(m^3 水/ 1000m^3 炉气)(操作状态)

ρ —— 炉气的平均重度(N/m^3)

u —— 喉管流速(m/s);

g —— 重力加速度(9.81m/s^2)

(7) 旋风除沫器的压力降

【说明】文氏管后的旋风除沫器的设计计算可参照旋风除尘器。

① 干炉气的压力降 $\Delta P_{\text{干}}$

【公式】

$$\Delta P_{\text{干}} = 8 \frac{\rho u^2}{2g} \quad (\text{Pa}) \quad (1-3-72)$$

式中 ρ —— 炉气的平均重度 (N/m^3)

u —— 进口气速 (m/s), 一般为20左右

②湿炉气(带有液体时)压力降 $\Delta P_{\text{湿}}$

【公式】

$$\Delta P_{\text{湿}} = (1 - 0.316 \sqrt{L'}) \Delta P_{\text{干}} \quad (\text{Pa}) \quad (1-3-73)$$

式中 L' —— 液气比 ($\text{m}^3 \text{水}/1000 \text{m}^3 \text{炉气}$) (操作状态) 其它同上

6. 洗涤水中 SO_2 的损失

【说明】用水洗涤炉气的过程中, 部分 SO_2 溶于水而损失, 提高水温有利于除去 SO_2 和减少 SO_2 的损失, 洗涤水中 SO_3 和 SO_2 含量和温度的关系见表1-3-19。

表1-3-19 洗涤水中 SO_2 和 SO_3 含量与温度的关系

水温($^{\circ}\text{C}$)	SO_2 (%)	SO_3 (%)	水温($^{\circ}\text{C}$)	SO_2 (%)	SO_3 (%)
28	0.75	0.28	45	0.26	1.36
33	0.70	0.29	46	0.26	1.36
38	0.41	0.88	48	0.28	1.20
40	0.30	0.84	50	0.20	1.15
41	0.27	1.12	53	0.14	1.65
43	0.31	0.87	55	0.14	1.65
44	0.24	0.90			

(三) 炉气的输送计算

1. 风机的容量 V

(1) 根据净化系统操作状态下的出口炉气量来确定

(2) 根据制酸量确定

【公式】

$$V = \frac{10QS(273 + t) \times 760 \times 100}{273GPxy} \quad (1-3-74)$$

式中 V —— 温度 t 、压力 P 时理论上所要求的炉气体积 (m^3)

Q —— 原酸产量 (m^3/h)

S —— 原酸总酸浓度 (%)

t —— 风机前炉气的温度

P —— 风机前炉气的气压计压力 (mmHg)

G —— 标准状态下, $1 \text{m}^3 \text{SO}_2$ 的重量, 取 $2.9629 (\text{kg}/\text{m}^3)$

x —— 炉气中 SO_2 含量 (%) (体积)

y —— 吸收过程中 SO_2 收获率 (%)

2. 风机风压

【说明】风机风压的选择要满足克服各设备和炉气输送管道的阻力。

(1) 摩擦阻力 h_1

【公式】

$$h_1 = \frac{\lambda}{D} \frac{u^2 \gamma}{2g} \quad (\text{mH}_2\text{O}/\text{m 管道}) \quad (1-3-75)$$

式中 λ —— 摩擦阻力系数, 对平滑管道 $\lambda = 0.012 \sim 0.045$

u ——管道中炉气速度(m/s), 沸腾炉出口温度为400~800℃时, 取14~18m/s; 经部分净化, 温度为200~450℃时, 取12~15m/s; 温度<100℃时, 取10~14m/s

D ——管道直径(m)

γ ——炉气重度(kg/m³)

g ——重力加速度(9.81m/s²)

(2) 局部阻力 h_2

【公式】

$$h_2 = \xi \frac{u^2 \gamma}{2g} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-3-76)$$

式中 ξ ——局部阻力系数, 见表1-3-20

其它符号含义及单位同上。

(3) 管道中全部阻力损失 H

【公式】

$$H = \sum h_1 L + \sum \xi \frac{u^2 \gamma}{2g} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-3-77)$$

式中 L ——管道长度(m)

其它符合含义及单位同前

表1-3-20

局部阻力系数 ξ 值

	有关系的速度	ξ 值
进入带有锐边缘的管子	在管中	0.5
弯曲度 20	在管中	0.05
40°	在管中	0.14
45	在管中	0.19
50	在管中	0.36
80	在管中	0.44
90	在管中	0.98
180	在管中	2.00
带有圆边的小孔和锥形收缩部分	收缩后的管中	0.25
渐渐收缩成锥形的部分	在小径管中	1.0
从管子出口的损失	从管子排出	1.0

三、二氧化硫的吸收计算

(一) 亚硫酸盐溶液的组成和性质

1. SO₂的溶解度

(1) SO₂在水中的溶解度

① 计算法

【说明】SO₂属于中等不溶解性气体, 在水中的溶解度可用下式计算。

【公式】

$$x = \frac{0.03KP}{100 \times 1.0363^t} (\%) \quad (1-3-73)$$

式中 x —— SO_2 在水中的含量(%)

K —— SO_2 在气体中的含量(体积%)

P —— 总压力(mmHg)

t —— 温度($^{\circ}\text{C}$)

1.0363^t —— 系数, 见表1-3-21

表1-3-21

系数 1.0363^t 值

温度($^{\circ}\text{C}$)	1.0363^t	温度($^{\circ}\text{C}$)	1.0363^t	温度($^{\circ}\text{C}$)	1.0363^t	温度($^{\circ}\text{C}$)	1.0363^t
0	1.000	10	1.429	20	2.042	30	2.917
1	1.0363	11	1.481	21	2.116	31	3.024
2	1.047	12	1.534	22	2.193	32	3.193
3	1.113	13	1.590	23	2.272	33	3.247
4	1.153	14	1.648	24	2.355	34	3.385
5	1.195	15	1.708	25	2.441	35	3.482
6	1.239	16	1.770	26	2.529	36	3.614
7	1.284	17	1.834	27	2.621	37	3.745
8	1.330	18	1.901	28	2.716	38	3.882
9	1.379	19	1.970	29	2.815	39	4.023

②查图法

【说明】见图1-3-11。

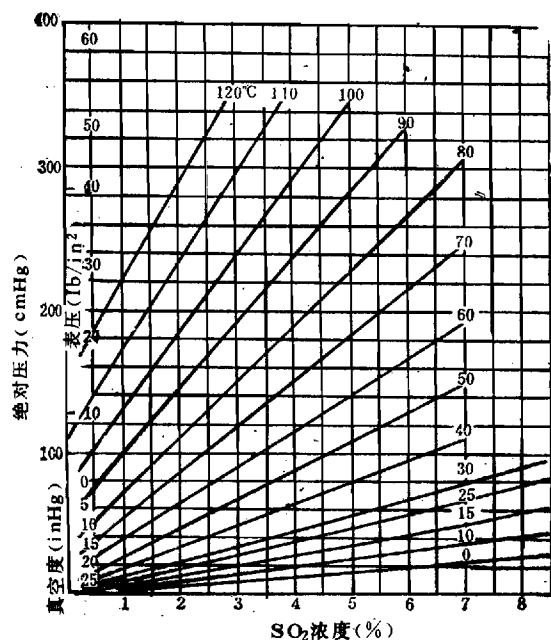


图1-3-11 SO_2 在水中的溶解度

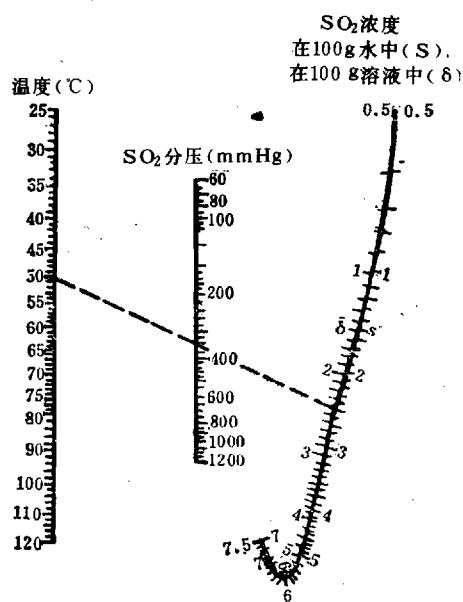


图1-3-12 SO_2 在水中的浓度列线图

表1—3—22

在不同温度下 SO₂和水的蒸汽压

溶液中 SO ₂ 含 量(克/ 100克水)	蒸 汽 压 (毫米汞柱)																			
	10°C		20°C		30°C		40°C		50°C		60°C		70°C		80°C		90°C		100°C	
	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O
0.0	0	9.2	0	17.5	0	31.8	0	55.3	0	92.5	0	149.5	0	234	0	355	0	526	0	760
0.5	21	9.2	29	17.5	42	31.7	60	55.2	83	92.3	111	149.2	144	234	182	354	225	525	247	758
1.0	42	9.2	59	17.4	85	31.7	120	55.1	164	92.2	217	149.0	281	233	356	354	445	524	548	757
1.5	64	9.2	90	17.4	129	31.6	181	55.0	247	92.0	328	148.8	426	233	543	353	684	523	850	756
2.0	86	9.1	123	17.4	176	31.6	245	55.0	333	91.9	444	148.6	581	233	746	353	940	523	—	—
2.5	108	9.1	157	17.4	224	31.5	311	54.9	421	91.8	562	148.3	739	232	956	352	—	—	—	—
3.0	130	9.1	191	17.3	273	31.5	378	54.7	511	91.6	682	148.1	897	232	—	—	—	—	—	—
3.5	153	9.1	227	17.3	324	31.5	447	54.7	603	91.5	804	147.9	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	176	9.1	264	17.3	376	31.4	518	54.6	698	91.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.5	199	9.1	300	17.3	428	31.4	588	54.5	793	91.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	223	9.1	338	17.2	482	31.3	661	54.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.5	247	9.0	375	17.2	536	31.3	733	54.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.0	271	9.0	411	17.2	588	31.2	804	54.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.5	295	9.0	448	17.2	642	31.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.0	320	9.0	486	17.1	698	31.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.5	345	9.0	542	17.1	752	31.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8.0	370	9.0	562	17.1	806	31.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8.5	395	9.0	600	17.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.0	421	9.0	638	17.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.5	447	8.9	676	17.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.5	447	8.9	676	17.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.0	473	8.9	714	17.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.5	499	8.9	751	17.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11.0	526	8.9	789	16.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11.5	553	8.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12.0	580	8.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12.5	608	8.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13.0	635	8.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13.5	662	8.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14.0	689	8.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14.5	716	8.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15.0	743	8.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15.5	771	8.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16.0	799	8.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

溶液中 SO ₂ 含 量/100克水	蒸 汽 压 (毫米汞柱)					
	110°C		120°C		130°C	
	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O	SO ₂	H ₂ O
0.5	326	1072	377	1486	420	2024
1.0	661	1071	775	1484	879	2022
1.5	1032	1070	—	—	—	—

③列线图法

【说明】见图1-3-12；图中 SO_2 分压见图1-3-13和表1-3-22。

④查表法

【说明】在大气压力下 SO_2 在水中的溶解度见表1-3-23。

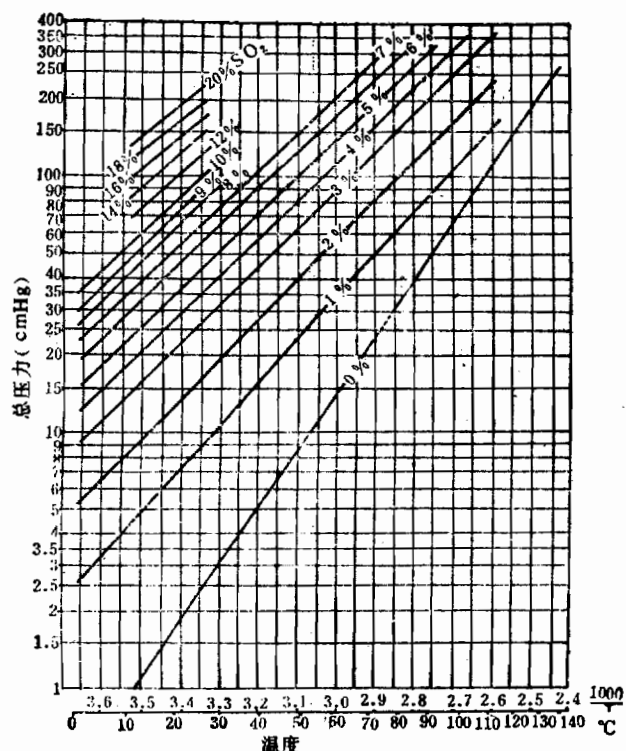


图1-3-13 SO_2 水溶液的蒸汽压

表1-3-23

大气压力下 SO_2 在水中的溶解度

水的温度 (°C)	当炉气中 SO_2 浓度为下列容积%时, 100g 溶液中所含的 SO_2 (g)											
	100	80	60	40	20	18	16	14	12	10	8	6
0	22.8	18.35	13.76	9.17	4.56	4.13	3.67	3.21	2.75	2.29	1.84	1.38
2	21.2	17.07	12.80	8.54	4.27	3.84	3.41	2.99	2.56	2.13	1.71	1.28
4	19.7	15.89	11.92	7.94	3.97	3.57	3.18	2.78	2.38	1.99	1.56	1.19
6	18.4	14.86	11.14	7.43	3.71	3.34	2.97	2.60	2.23	1.86	1.49	1.11
8	17.1	13.82	10.36	6.91	3.45	3.11	2.76	2.42	2.07	1.73	1.38	1.04
10	16.2	13.12	9.84	6.56	3.28	2.95	2.62	2.30	1.97	1.64	1.31	0.98
12	15.1	12.24	9.18	6.12	3.06	2.75	2.45	2.14	1.84	1.53	1.22	0.92
14	14.0	11.38	8.54	5.69	2.85	2.56	2.28	1.99	1.71	1.42	1.14	0.85
16	13.0	10.59	7.94	5.30	2.65	2.38	2.12	1.85	1.59	1.32	1.06	0.79
18	12.1	9.91	7.43	4.96	2.48	2.23	1.98	1.73	1.49	1.24	0.99	0.74
20	11.3	9.22	6.92	4.61	2.31	2.08	1.84	1.61	1.39	1.15	0.92	0.69
22	10.5	8.61	6.46	4.30	2.15	1.94	1.72	1.51	1.29	1.08	0.86	0.65
24	9.8	8.03	6.02	4.02	2.01	1.81	1.61	1.41	1.20	1.00	0.80	0.60
26	9.1	7.49	5.62	3.74	1.87	1.68	1.50	1.31	1.12	0.94	0.75	0.56
28	8.4	6.98	5.14	3.49	1.75	1.57	1.39	1.22	1.05	0.87	0.70	0.51

续表

水的温度 ℃	当炉气中 SO ₂ 浓度为下列容积 % 时, 100 克溶液中所含的 SO ₂ (g)											
	100	80	60	40	20	18	16	14	12	10	8	6
30	7.8	6.50	4.88	3.25	1.63	1.46	1.30	1.14	0.98	0.81	0.65	0.49
32	7.2	6.04	4.53	3.02	1.51	1.36	1.21	1.06	0.91	0.76	0.60	0.45
34	6.7	5.66	4.24	2.83	1.41	1.27	1.13	0.99	0.85	0.71	0.57	0.42
36	6.3	5.35	4.01	2.68	1.34	1.20	1.07	0.94	0.80	0.67	0.54	0.40
38	5.8	4.96	3.72	2.48	1.22	1.12	0.99	0.87	0.74	0.62	0.50	0.38
40	5.4	4.66	3.50	2.33	1.17	1.05	0.93	0.82	0.70	0.58	0.47	0.36
42	5.2	4.52	3.39	2.26	1.13	1.02	0.90	0.79	0.68	0.57	0.45	0.34
44	4.9	4.30	3.22	2.15	1.07	0.97	0.86	0.75	0.64	0.54	0.43	0.32
46	4.6	4.08	3.06	2.04	1.02	0.90	0.82	0.71	0.61	0.51	0.41	0.31
48	4.3	3.86	2.89	1.93	0.96	0.80	0.77	0.67	0.58	0.48	0.39	0.29
50	3.8	3.46	2.59	1.73	0.86	0.78	0.69	0.60	0.52	0.43	0.34	0.26
60	2.7	2.69	2.02	1.34	0.67	0.60	0.54	0.47	0.40	0.34	0.27	0.20
70	1.8	1.80	1.55	1.04	0.52	0.46	0.41	0.36	0.31	0.26	0.21	0.16
80	1.1	1.10	1.10	0.82	0.41	0.37	0.33	0.29	0.25	0.21	0.16	0.12
90	0.5	0.50	0.50	0.50	0.30	0.29	0.26	0.23	0.19	0.16	0.13	0.10

(2) SO₂ 在 Ca(HSO₃)₂ 溶液中的溶解度【说明】当溶液中存在亚硫酸氢盐时, [HSO₃⁻] 浓度增加, SO₂ 的溶解度降低。

【公式】

$$x = \frac{0.3KP}{100 \times 1.0363^{R^{2C}}} R^{2C} (\%) \quad (1-3-79)$$

式中 x —— SO₂ 在 Ca(HSO₃)₂ 溶液中的溶解度 (%) K —— 在气体中 SO₂ 的体积 (%) P —— 总压力 (mmHg) R —— 常数, 取 0.89 C —— 化合酸含量 (C·A) (%) R^{2C} —— 其值见表 1-3-24

表 1-3-24

系数 R 值

C·A. (%)	R^{2C}	C·A. (%)	R^{2C}	C·A. (%)	R^{2C}
0.0	1.0	0.9	0.811	1.8	0.657
0.1	0.978	1.0	0.792	1.9	0.642
0.2	0.956	1.1	0.774	2.0	0.627
0.3	0.934	1.2	0.756	2.1	0.613
0.4	0.912	1.3	0.739	2.2	0.599
0.5	0.890	1.4	0.722	2.3	0.585
0.6	0.870	1.5	0.705	2.4	0.571
0.7	0.850	1.6	0.689	2.5	0.558
0.8	0.830	1.7	0.673	—	—

2. H₂SO₃ + Ca(HSO₃)₂ 溶液的性质计算(1) H₂SO₃ 的离解常数

【说明】亚硫酸盐的离解平衡常数随温度的提高而降低。 H_2SO_3 第一级解离平衡常数见表1-3-25。

【公式】
$$\lg K_1 = -\frac{2467.5}{T} + 16.545 - 0.03365T \quad (1-3-80)$$

式中 K_1 —— H_2SO_3 第一级解离平衡常数

T —— 绝对温度(°K)

表1-3-25 亚硫酸溶液的 K_1 、pH 值和温度的关系

温 度 (°C)	计 算 值		测 定 值	
	K_1	pH	K_1	pH
25	0.01725	0.88	0.0172	0.88
70	0.00644	1.09	0.0064	1.168
100	0.00239	1.31	0.0024	1.31
110	0.00163	1.40	0.0016	1.40
120	0.00111	1.48	0.0011	1.48
130	0.00073	1.57	0.0008	1.55
140	0.00047	1.665	0.0005	1.65
150	0.00030	1.76	0.0003	1.76

(2)溶液的酸度

【说明】原酸的 pH 值取决于游离酸在总酸中所占的百分数。蒸煮酸中由于含有一部分有机酸,因此其 pH 值较组成相同的原酸为低。0°C时原酸的 pH 值见表1-3-26。

(3)溶液的相对密度

【公式】

$$d = 1 + 0.0051(a + 3b) \quad (1-3-81)$$

式中 d —— 15°C时酸液的相对密度

a —— 酸液中总酸浓度(%)

b —— 酸液中 CaO 含量(%)

【附表】原酸的相对密度与酸液组成的关系见表1-3-27。

表1-3-26 0°C时原酸的 pH 值

游离酸占总酸的(%)	pH 值	游离酸占总酸的(%)	pH 值
55	2.72	80	1.60
60	2.37	85	1.40
65	2.14	90	1.17
70	1.94	95	0.82
75	1.77	—	—

表1-3-27 原酸的相对密度与酸液组成的关系

酸液相对密度 (15°C)	原 酸 组 成					
	T. A. (%)	F. A. (%)	C. A. (%)	CaO (%)	T. A. /CaO	F. A. /T. A.
1.0280	2.59	1.84	0.75	0.66	3.9	0.71
1.0287	2.63	1.77	0.86	0.75	3.5	0.67
1.0294	2.75	1.86	0.89	0.78	3.5	0.68

续表

酸液相对密度 (°C)	原 酸 组 成					
	T. A. (%)	F. A. (%)	C. A. (%)	CaO(%)	T. A. /CaO	F. A. /T. A
1.0301	2.56	1.76	0.80	0.70	3.6	0.69
1.0308	2.91	1.88	1.03	0.90	3.2	0.65
1.0315	3.10	2.02	1.08	0.95	3.3	0.65
1.0322	2.98	1.97	1.01	0.88	3.4	0.66
1.0329	3.08	2.03	1.05	0.92	3.3	0.66
1.0336	3.04	1.99	1.05	0.92	3.3	0.66
1.0343	3.09	1.99	1.10	0.96	3.2	0.65
1.0350	3.13	2.01	1.12	0.98	3.2	0.64
1.0357	3.27	2.07	1.20	1.05	3.1	0.63
1.0371	3.53	2.27	1.26	1.10	3.2	0.64
1.0378	3.49	2.21	1.28	1.12	3.1	0.63
1.0385	3.62	2.29	1.33	1.17	3.1	0.63
1.0392	3.66	2.37	1.29	1.13	3.2	0.65
1.0399	3.83	2.37	1.46	1.28	3.1	0.62
1.0406	3.87	2.44	1.43	1.25	3.1	0.63
1.0413	3.78	2.34	1.44	1.26	3.0	0.62
1.0427	3.94	2.43	1.51	1.32	3.0	0.62

3. $\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2 + \text{MgSO}_3$ 溶液的性质(1) 溶液的相对密度 d

【公式】 $d = 0.9954 + 0.0064m + 0.0114\text{T. A.}$ (1-3-82)

式中 d —— 15.5°C 时酸液的相对密度

T. A. —— 总酸含量(%)

 m —— 亚硫酸盐含量(过氧亚硫酸)以 SO_2 计(%)【注意】上式适用范围: T. A. = 1.8~8.0%; $m = 0 \sim 1.2\%$ 。

【附表】亚硫酸氢镁溶液的相对密度见表1-3-28。

表1-3-28

亚硫酸氢镁溶液的相对密度

d T. A.	m	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.2		1.0173	1.0179	1.0186	1.0192	1.0199	1.0205	1.0211	1.0218	1.0224
2.5		1.0230	1.0236	1.0243	1.0249	1.0256	1.0262	1.0268	1.0275	1.0281
3.0		1.0287	1.0293	1.0300	1.0306	1.0313	1.0319	1.0325	1.0322	1.0338
3.5		1.0344	1.0350	1.0360	1.0366	1.0373	1.0379	1.0385	1.0392	1.0398
4.0		1.0401	1.0407	1.0414	1.0420	1.0427	1.0433	1.0439	1.0446	1.0452
4.5		1.0458	1.0464	1.0471	1.0477	1.0484	1.0490	1.0496	1.0503	1.0509
5.0		1.0515	1.0521	1.0528	1.0534	1.0541	1.0547	1.0553	1.0560	1.0566
5.5		1.0572	1.0578	1.0585	1.0591	1.0598	1.0604	1.0610	1.0617	1.0623
6.0		1.0629	1.0635	1.0642	1.0648	1.0655	1.0661	1.0667	1.0674	1.0680
6.5		1.0686	1.0692	1.0699	1.0705	1.0712	1.0718	1.0724	1.0731	1.0737
7.0		1.0743	1.0749	1.0756	1.0762	1.0769	1.0775	1.0782	1.0788	1.0794

(2) 溶液的粘度 μ

【公式】

$$\mu = -0.72326 + 3.60177 \times 10^{-5}(t - 197.5)^2$$

$$+9.73065 \times 10^{-4} \times (T.A. \cdot t \times 33.122)^2 - 3.13162 \times 10^{-4} (T.A. \cdot t) + 0.03006m + 0.0018S \quad (\text{cP}) \quad (1-3-83)$$

式中 S —— 硫酸盐中的硫对总酸的重量(%)

t —— 华氏温度

【附图】 亚硫酸氢镁溶液的粘度见图1-3-14。

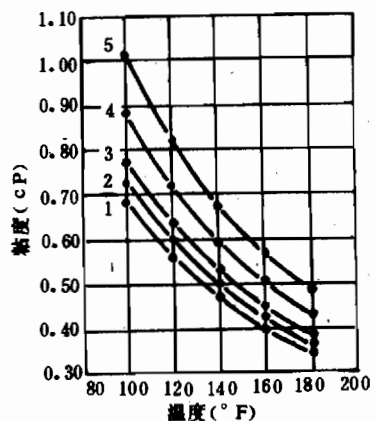


图1-3-14 亚硫酸氢镁溶液的粘度

1—水 2—T.A. 1.37% 3—T.A. 2.65%
4—T.A. 5.22% 5—T.A. 7.74%

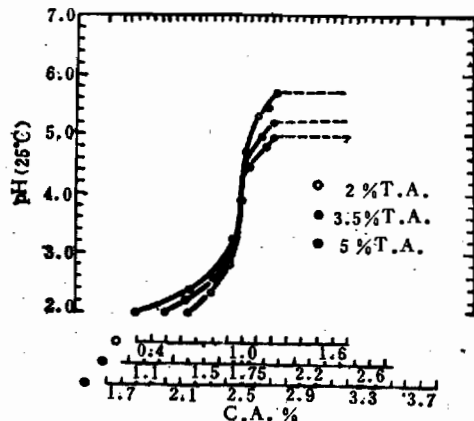


图1-3-15 亚硫酸氢镁溶液的 pH 值

(3) 溶液的酸度

【说明】亚硫酸氢镁溶液的组成和 pH (25°C) 值的关系如图1-3-15; 不同组成的酸液 pH 值随温度的变化见图1-3-16。

(4) SO_2 分压 P

【公式】

$$\lg P = 5.55 - \frac{2090}{T} + 2\lg(F + 1) + (\lg m)^2 \quad (1-3-85)$$

或

$$\lg P = 4.65 + 2\lg F + 2.74(\lg m)^2 \quad (1-3-86)$$

式中 P —— SO_2 的分压(mmHg)

F —— 游离酸含量 F.A. (%)

M —— MgSO_3 含量 (以 SO_2 表示) (%)

T —— 酸液温度(°K)

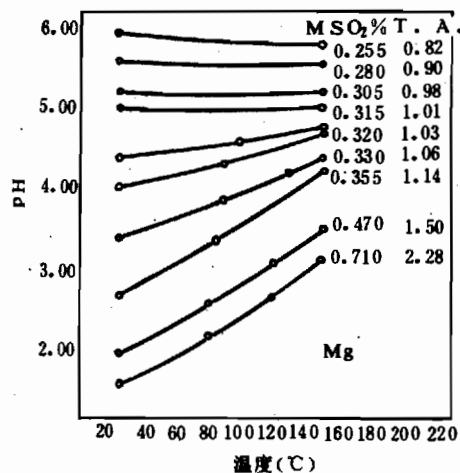


图1-3-16 亚硫酸氢镁溶液的 pH 值与温度的关系

[0.315NMg(1.01% C.A.)]

【附图】50℃时亚硫酸氢镁溶液的 SO₂等压线见图1-3-17。

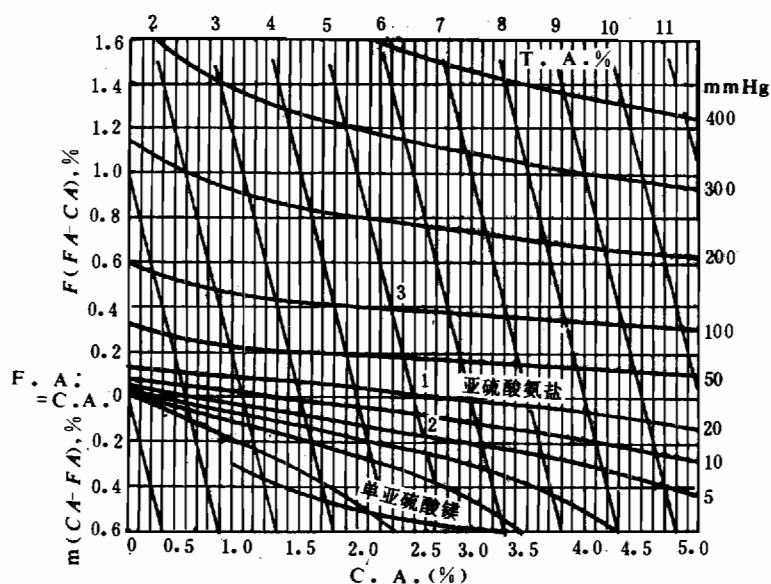


图1-3-17镁盐基亚硫酸溶液 SO₂等压线

(1mmHg=133.3Pa)

【图示例】在亚硫酸氢镁线上方 F.A. > C.A.; 下方 C.A. > F.A., 即溶液中有过剩 MgSO₃。横坐标表示 C.A., 斜主线表示 T.A., 曲线为 SO₂等压线。

例1. 查5% T.A., 2.5% C.A. 的 Mg(HSO₃)₂溶液的 SO₂分压。

解: 从图1-3-17中查5% T.A., 2.5% C.A. 与 Mg(HSO₃)₂线三线的交点1, 沿曲线查出 SO₂分压为20mmHg(相当于与 SO₂炉气浓度2.64%相平衡)。

例2. 查5% T.A., m 为0.2%时溶液 SO₂分压。

解: 从图1-3-17上查5% T.A., 斜线与0.2% (C.A. = F.A.) 线相交于点2, 沿等压线查出 SO₂分压为4mmHg。

例3. 查5% T.A., F 为0.4%时的溶液 SO₂分压。

解: 从图上查5% T.A., 斜线与0.4% (F.A. — C.A.) 线相交于点3, 沿等压线查出 SO₂分压为100mmHg。

表1-3-29

MgSO₃·3H₂O 在水中的溶解度

温度 (℃)	MgSO ₃ ·3H ₂ O 溶解度 (g 无水盐/100g 溶液)	温度 (℃)	MgSO ₃ ·3H ₂ O 溶解度 (g 无水盐/100g 溶液)
38	1.04	62.5	0.748
42	0.937	65	0.720
46	0.897	75	0.664
50	0.844	85	0.623
55	0.817	95	0.915
60	0.758		

表1-3-30

 $\text{MgSO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 在水中的溶解度

温 度 (°C)	搅拌时间 (h)	$\text{MgSO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶解度 (g 无水盐/100g 溶液)	温 度 (°C)	搅拌时间 (h)	$\text{MgSO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶解度 (g 无水盐/100g 溶液)
0	4	0.337	45	1.5	1.112
	4	0.338		4	1.120
	6	0.338		6	1.117
		平均值 0.338		6	1.116
15	4	0.498	55	2	1.460
	4	0.497		4	1.468
	7	0.497		4	1.468
25	3	0.646	57.5	4	1.684
	5	0.646		3	1.690
	5	0.645		4	1.690
35	2.5	0.842	62.5	3	1.950
	2.5	0.845		4	1.950
	5	0.844			
	5	0.845			

(5) MgSO_3 的溶解度

【说明】含有三个结晶水的亚硫酸镁 ($\text{MgSO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 和含有6个结晶水的亚硫酸镁 ($\text{MgSO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 在水中的溶解度分别见表1-3-29和表1-3-30; 在不同温度和总酸浓度下 MgSO_3 的溶解度见图1-3-18。

4. 不同盐基的亚硫酸盐溶液的溶解度见表1-3-31

(二) 二氧化硫的吸收计算

1. 吸收过程的化学反应热和化合物的生成热

【说明】制备亚硫酸盐溶液时的化学反应热见表1-3-32; 有关化合物的生成热见表1-3-33。

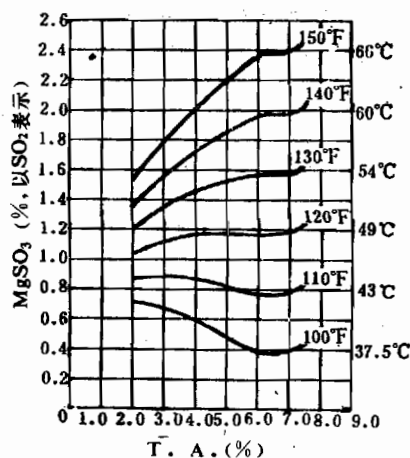
图1-3-18 不同温度和总酸浓度时 MgSO_3 的溶解度

表1-3-31

不同盐基的亚硫酸盐溶解度

盐 基 种 类	溶解度(g/100g 水)	
	冷 水	温 水
亚硫酸钙 $\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.0043(18°C)	0.0011(100°C)
亚硫酸镁 $\text{MgSO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.25	0.82
亚硫酸钠 Na_2SO_3	12.54(0°C)	28.3(80°C)
亚硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32.4(0°C)	60.4(100°C)

表1-3-32

制备亚硫酸盐溶液时的化学反应热

反 应 式	反 应 热	
	kcal/mol	kJ/mol
$\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 = \text{H}_2\text{SO}_3$	7.4	30.98
$\text{CaCO}_3 + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HSO}_3)_2 + \text{CO}_2$	29.6	123.93
$\text{CaO} + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$	73.0	305.64
$\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{SO}_2 = \text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$	57.1	239.07
$\text{MgCO}_3 + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{HSO}_3)_2 + \text{CO}_2$	25.9	108.44
$\text{MgO} + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$	53.4	223.58
$\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{SO}_2 = \text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$	49.2	205.99

表1-3-33

有关化合物的生成热

化合物的分子式	生成热(kcal/mol)	化合物的分子式	生成热(kcal/mol)
H_2O	68.4	MgO	146.1
SO_2	70.9	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	216.7
CO_2	94.0	MgCO_3	267.6
H_2SO_3	146.7	$\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$	409.7
CaO	151.7	Na_2O	99.2
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	236.0	NaOH	101.9
CaCO_3	289.1	Na_2CO_3	269.4
$\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$	434.9	Na_2SO_3	261.2
		NaHSO_3	205.0

2. SO_2 吸收温度的升高计算

【说明】吸收的温度是由水温、炉气的温度、化学反应热等构成，与吸收时的气液比也有关系。其中以水温及化学反应热对吸收的温度影响最大。以钙盐为例，从热化学放出反应热对溶液的温度升高，从而可以计算出使溶液稳定所需控制的水温。化学反应热见表1-3-32。

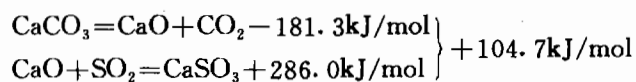
(1) 溶液中每增加1%的游离酸升温计算

【说明】将酸液的比热近似地视为 $4.1868\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ [$1\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$]，溶液中每增加1%的游离酸，即每升溶液增加10g 游离 SO_2 ，溶液升高的温度为：

$$t_1 = \frac{\frac{30.98}{64} \times 100}{4.1868} \approx 1(^{\circ}\text{C})$$

(2) 每增加1%的化合酸温度升高

【说明】根据反应式及反应热，同理可计算出每增加1%的化合酸时溶液所升高的温度。



$$\text{因此，温度的升高为：} \quad t_2 = \frac{\frac{104.7}{64} \times 100}{4.1868} \approx 4(^{\circ}\text{C})$$

(3) 其他盐基每增加1%的化合酸温度升高

【说明】同理可计算出其它不同盐基每增加1%的化合酸，溶液温度升高的值如下：

$\text{CaO} \longrightarrow 9.8^\circ\text{C}$

$\text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow 7.7^\circ\text{C}$

$\text{MgCO}_3 \longrightarrow 3.5^\circ\text{C}$

$\text{MgO} \longrightarrow 7.2^\circ\text{C}$

$\text{Mg}(\text{OH})_2 \longrightarrow 6.6^\circ\text{C}$

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow 3.3^\circ\text{C}$

(4) 由不同酸液组成计算溶液的升温

【例】若酸液的组成为 T. A. = 3.2%, C. A. = 1.3%, F. A. = 1.9%。则由化学反应热而使溶液升高的温度为:

$$\begin{aligned} t_3 &= 1.3 \times 4 + 1.9 \times 1 \\ &= 5.2 + 1.9 = 7.1(^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

3. 用水量的计算

【说明】用水量是生产过程中控制酸液组成的一个主要因素,对于石灰石块法来说,降低用水量则总酸增高,化合酸增大,溶液的温度升高,游离酸下降。尤其在水温低时反应更明显。溶解 SO_2 与化合 SO_2 之比随用水量的减少呈直线下降,见图1-3-19。

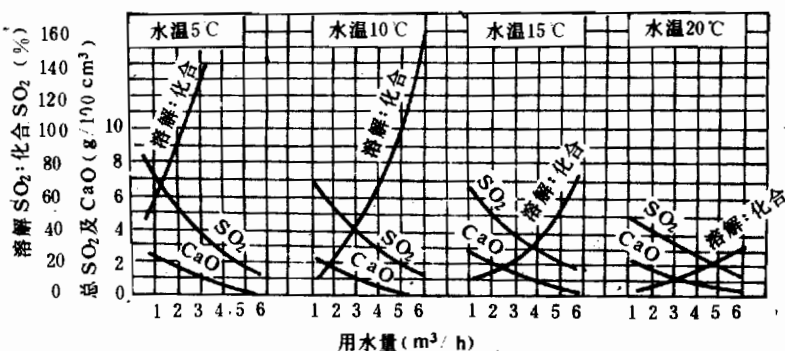


图1-3-19 用水量与塔酸组成的关系

4. SO_2 吸收量的计算

【说明】增加气体中 SO_2 的浓度,不仅可以加速吸收,而且可以制得浓度较高的酸液,所以,在燃烧时应尽量提高炉气中 SO_2 的浓度。

【公式】 $Q = KF\Delta P$ (1-3-87)

式中 Q —— 吸收量 ($\text{mol SO}_2/\text{h}$)

F —— 传质面积 (m^2)

K —— 吸收系数 [$\text{mol SO}_2/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$]

ΔP —— 传质过程的推动力 (Pa)

$$\Delta P = \frac{(P_1 - P_2) - (P_1' - P_2')}{\ln \frac{P_1 - P_2}{P_1' - P_2'}} (\text{Pa})$$
 (1-3-88)

P_1, P_2 —— 吸收过程始末被吸收气体中 SO_2 的分压 (Pa)

P_1', P_2' —— 吸收过程始末液面上 SO_2 的平衡压力 (Pa)

5. 高塔的计算

(1) 塔的直径 d

【公式】
$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi K}} \quad (\text{m}) \quad (1-3-89)$$

式中 Q —— 日产酸液量 (m^3/d)

K —— 每米²塔截面积的生产能力 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]

(2) 塔的填充高度 H

【公式】
$$x = a \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{H}{h}} \quad (1-3-90)$$

式中 x —— 排出气体中 SO_2 的浓度 (%)

a —— 进塔气体中 SO_2 的浓度 (%)

H —— 石灰石的高度 (m)

h —— 半吸收高度 (m), 指进入塔内 SO_2 总量的一半被吸收的高度。 h 和喷淋水的温度的关系如下:

水温 (°C)	5	10	12	15	18	20
h (m)	1.55	2.80	3.25	4.05	4.85	5.50

(3) 压力降的计算

【说明】根据工厂实测资料, 当空塔中炉气速度为 0.3 m/s 时, 每米填充高度的阻力约在 $3 \text{ mmH}_2\text{O}$, (29.41 Pa) 左右。

6. 低塔的计算

【说明】低塔吸收装置在我国被广泛地用于酸性亚硫酸氢钙和亚硫酸氢镁酸液的制备。前者用粉状石灰石悬浊液作为吸收剂, 后者则用氧化镁悬浊液作为吸收剂。

(1) 塔的直径 d

【公式】
$$d = \sqrt{\frac{V}{3600 \times 0.785w}} \quad (\text{m}) \quad (1-3-91)$$

式中 V —— 操作状态下的处理气量 (m^3/h)

w —— 空塔速度 (m/s), 低者可在 $0.2 \sim 0.5 \text{ m/s}$; 高者可在 $1 \sim 1.5 \text{ m/s}$; 一般都控制在 $0.6 \sim 1.0 \text{ m/s}$

(2) 塔的填充高度 H

① 传热面积 F 的计算

【公式】
$$F = \frac{G}{K \Delta P} \quad (\text{m}^2) \quad (1-3-92)$$

式中 G —— 需要吸收的 SO_2 量 (kg/h)

K —— 吸收速度系数 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{atm})$]

ΔP —— 平均吸收推动力 (atm)

$$\Delta P = \frac{(P_1 - P_2) - (P_1' - P_2')}{\ln \frac{P_1 - P_2}{P_1' - P_2'}} \quad (\text{atm})$$

P_1, P_2 —— 吸收过程始末被吸收气体中 SO_2 的分压 (mmHg)

P_1', P_2' —— 吸收过程始末液面上 SO_2 的平衡压力 (mmHg)

② 填料层的高度 H

【公式】
$$H = \frac{F}{0.785 A d^2} \quad (\text{m}) \quad (1-3-93)$$

式中 A —— 填料的比表面积 (m^2/m^3)

F, d —— 同上

③ 单台塔的填料高度 h

【说明】总的填料高度 H 可平均分配于每台吸收塔。

【公式】
$$h = \frac{H}{n} \quad (\text{m}) \quad (1-3-94)$$

式中 n —— 塔的串联台数

其它同上

(3) 塔径 d 与填料高度 h 的关系

【说明】为了使淋洒的液体在整个塔截面分布均匀, 必须保证一定的填料高度, 其关系以 h/d 表示。一般填料塔以 $h/d = 1.5 \sim 2$ 为下限, 但 $h/d < 5$ 。

(4) 填料层的阻力 ΔP

【说明】经液体淋洒后的湿填料层的阻力可用式1-3-95计算。

【公式】
$$\Delta P = \Delta P_{\mp} (1 + KL) \quad (1-3-95)$$

式中 ΔP_{\mp} —— 干填料阻力 ($\text{mmH}_2\text{O}/\text{m}$ 填料), 见图1-3-20及图1-3-21

K —— 校正系数

L —— 淋洒密度 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

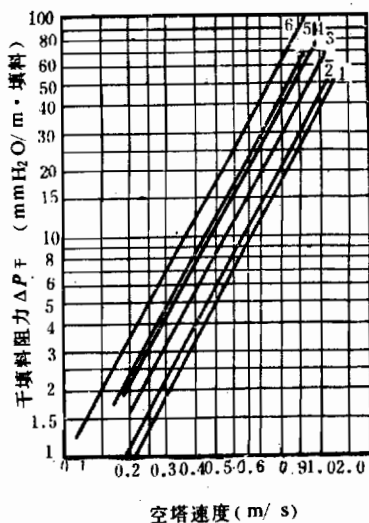


图1-3-20 块状干填料阻力

1—中性长石(42.6mm) 2—焦炭(42.6mm)

3—焦炭(40.6mm) 4—焦炭(26.6mm)

5—焦炭(24.4mm) 6—卵石(42mm)

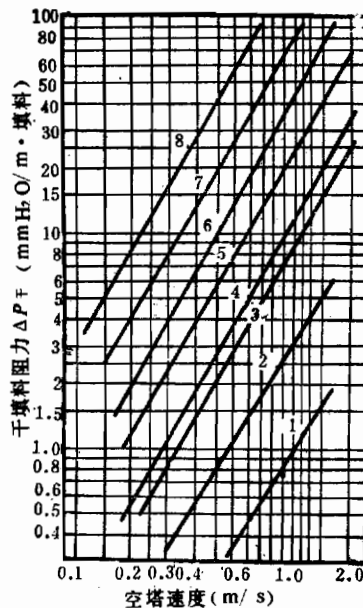


图1-3-21 环状干填料阻力

1—陶瓷环(Φ50×50mm), 管式排列 2—陶瓷环(Φ50×50mm), 交错排列

3—钢环(Φ50×50mm), 堆放 4—陶瓷环(Φ50×50mm), 堆放

5—陶瓷环(Φ35×35×4mm), 堆放 6—陶瓷环(Φ25×25×3mm), 堆放

7—陶瓷环(Φ15×15×2mm), 堆放 8—瓷环(Φ8×8×1.5mm), 堆放

(5) 填料的数量 n

【说明】一般塔径较填料直径大十倍以上,填料高度和直径相等时,单位体积内填料的数量可用式1-3-96计算。

$$\text{【公式】} \quad n = \frac{K}{d^3} \quad (\text{个}/\text{m}^3) \quad (1-3-96)$$

式中 d —— 填料的外径(m)

K —— 常数,对于普通瓷环,堆放时取0.77;整放时采用三角形排列取1.15,采用正方形排列取1.00;对马鞍瓷环、槽鞍瓷环,堆放时取1.21

(6)比表面积 A

【说明】单位体积的填料中填料的表面积称为比表面积。

$$\text{【公式】} \quad A = nA_0 \quad (1-3-97)$$

式中 A_0 —— 一个填料的表面积($\text{m}^2/\text{个}$)

n —— 每米³体积内填料的个数($\text{个}/\text{m}^3$)

① 普通瓷环比表面积的近似计算

$$\text{【公式】} \quad A = 2\pi n(d^2 - \delta^2) \quad (\text{m}^2/\text{m}^3) \quad (1-3-98)$$

② 堆放时的比表面积近似计算

$$\text{【公式】} \quad A = \frac{4.8}{d} \quad (\text{m}^2/\text{m}^3) \quad (1-3-99)$$

③ 整放时采用三角形排列的近似计算

$$\text{【公式】} \quad A = \frac{7.15}{d} \quad (\text{m}^2/\text{m}^3) \quad (1-3-100)$$

④ 整放时采用正方形排列的近似计算

$$\text{【公式】} \quad A = \frac{6.2}{d} \quad (\text{m}^2/\text{m}^3) \quad (1-3-101)$$

以上各式中 d —— 瓷环的外径(m);

δ —— 瓷环的厚度(m)。

(7)空隙率 ϵ

【说明】空隙率系指填料呈干燥状态时,塔内净空间所占的百分率。

$$\text{【公式】} \quad \epsilon = 1 - nV_0 \quad (1-3-102)$$

式中 n —— 填料数量($\text{个}/\text{m}^3$)

V_0 —— 一个填料的材料体积($\text{m}^3/\text{个}$)

【注意】由于操作时填料壁上附有液体层,故实际空隙率要小于上述干空隙率。

(8)干填料因子 m

【说明】干填料因子是表示填料流体力学特性的数群。

$$\text{【公式】} \quad m = \frac{A}{\epsilon^3} \quad (1/\text{m}) \quad (1-3-103)$$

式中符号含义及单位同上。

(9)有关普通瓷环的特性计算值

【说明】见表 1-3-34。

7. 湍流塔的计算

【说明】湍流塔的特点是在塔内栅板上放置一定数量的轻质球,在高速气流、淋洒液和自身重力的作用下,作剧烈的旋转和翻腾,形成气、液、固三相湍流运动和搅拌作用,从而引起气液两相良好的接触。国内一些新建的亚硫酸盐法制浆厂已采用湍流塔制备亚硫酸氢镁溶液。湍流塔也可用于沸腾炉炉气的除尘和洗涤。

(1) 塔的工艺参数

①空塔流速：一般选用2.5~6m/s,用于炉气除尘和洗涤时,可取2.5~3m/s;用于吸收时可取3~5m/s。

②静止床层高度 H_0 。

当 $H_0/d > 1$ 时,发生活塞流动和沟流现象(d 为塔径); H_0 一般为湍流区高度的20~40%,如大于50%则失去湍动的特性。

③淋洒密度

湍流塔对液体的淋洒密度要求不严。用于炉气净化时,可取30~40m³/(m²·h);用于吸收时可根据相平衡选取合适的淋洒量。

④接触区高度 H_k 。

H_k 即筛板间距离,一般选取1000~1500mm,空塔速度高时取上限,低时取下限。

$H_k = 1.25H_e$ (H_e 为床层膨胀高度)

或 $H_k = (2.5 \sim 5)H_0$ (H_0 为静止床层高度)

⑤塔的段数:对于制备亚硫酸氢镁酸液的吸收塔,一般采用四段;对于炉气净化则用两段即可。

(2) 床层膨胀高度 H_e 的计算

【说明】当气体的空塔速度为2~5m/s,淋洒密度大于25m³/(m²·h)时,可用式1-3-104计算 H_e

表1-3-34

普通瓷环的特性(根据公式的计算值)

项 目	公 称 尺 寸 (mm)					
	25	50	80	100	125	150
外形尺寸,外径(mm)	25	50	80	100	125	150
高 (mm)	25	50	80	100	125	150
厚 (mm)	2.5	4.5	9.5	13	14	16
堆放:比表面 a (m ² /m ³)	193	95	59.4			
空隙率 ϵ	0.782	0.802	0.748			
数量 n (个/m ³)	49280	6160	1500			
堆积重度 γ (kg/m ³)	546	496	632			
干填料因子 a/ϵ^3 (m ⁻¹)	403	184	142			
三角形整放:比表面 a (m ² /m ³)		143.5	88.7	71.0	57.2	47.5
空隙率 ϵ		0.704	0.623	0.592	0.642	0.657
数量 n		9200	2240	1150	590	340
堆积重度 γ (kg/m ³)		740	945	1015	904	860
干填料因子 a/ϵ^3 (m ⁻¹)		410	363	342	218	167.5
正方形整放:比表面 a (m ² /m ³)		124.8	77.2	61.75	49.4	41.3
空隙率 ϵ		0.743	0.672	0.645	0.688	0.701
数量 n (个/m ³)		8000	1950	1000	510	296
堆积重度 γ (kg/m ³)		644	822	883	780	748
干填料因子 a/ϵ^3 (m ⁻¹)		304	254	230	251.5	120

【公式】

$$H_e = KH_0 w^{1.147} L^{0.7}$$

(1-3-104)

式中 H_e —— 床层膨胀高度(m)

H_0 —— 静止床层高度(m)

K —— 系数, 0.045~0.08, 一般取0.06

w —— 空塔速度(m/s)

L —— 淋洒密度[m³/(m²·h)]

(3) 小球的计算

① 小球的填充数 N

【公式】
$$N = (1 - \epsilon) \frac{\frac{\pi}{4} D^2 H_0}{\frac{\pi}{6} d^3} = \frac{3}{2} (1 - \epsilon) \frac{D^2 H_0}{d^3} \quad (1-3-105)$$

式中 N —— 球数(个)

D —— 塔直径(mm)

H_0 —— 静止床层高度(mm)

ϵ —— 静止床层平均空隙率, 当 $D/d > 12$ 时, 取 $\epsilon = 0.4$; $D/d \leq 12$ 时, 取 $\epsilon = 0.45$

d —— 球直径(mm)

② 小球的选取

【说明】塔径 D 和球径 d 的比值 D/d 最好大于 10。当 $D \geq 200$ mm 时, 可选用 $\Phi 38$ 、 $\Phi 30$ 和 $\Phi 25$ mm 的小球; 当 $D < 200$ mm 时, 可选用 $\Phi 20$ 、 $\Phi 15$ mm 的小球。小球的相对密度一般在 0.15~0.65 之间, 其值与压力降的关系见表 1-3-35。

表 1-3-35

塑料球相对密度与压力降的关系

材 料	球 直 径(mm)	静止床高度(mm)	球相对密度	空气速度(m/s)	压力降(Pa)
聚乙烯	45	300	0.33	8	686.7
聚乙烯	36	300	0.25	8	539.6
聚乙烯	36	300	0.30	8	588.6
聚乙烯	36	300	0.50	8	980.7

(4) 压力降 ΔP

① 当未淋洒液体时的压力降

【公式】
$$\Delta P = \frac{G}{F} = H_0(\gamma - \gamma_g)(1 - \epsilon) \quad (1-3-106)$$

式中 ΔP —— 压力降(Pa)

G —— 球体总重(kg)

F —— 塔截面积(m²)

H_0 —— 静止床层高度(m)

γ —— 小球重度(N/m³)

γ_g —— 气体重度(N/m³)

ϵ —— 空隙率(%)

② 当淋洒密度小于 20m³/(m²·h) 时的压力降

【公式】
$$\Delta P = H_0(2.92\mu^{1/3}d^{-2/3}L^{1/3}\rho_{LG} + \gamma - \gamma_g)(1 - \epsilon) \quad (1-3-107)$$

式中 ΔP —— 压力降(Pa)

H_0 —— 静止床层高度(m)

μ —— 液体运动粘度(m²/s)

d —— 球直径(m)
 L —— 淋洒密度[m³/(m²·h)]
 ρ_L —— 液体密度(kg/m³)
 g —— 重力加速度(9.81m/s²)
 γ —— 球体重度(N/m³)
 γ_g —— 气体重度(N/m³)
 ϵ —— 空隙率(%)

③当淋洒密度大于25m³/(m²·h)时的压力降

【公式】 $\Delta P = Aw^{0.8}L^{0.44}$ (1-3-108)

式中 ΔP —— 压力降(Pa)

w —— 空塔速度(m/s)

L —— 淋洒密度[m³/(m²·h)]

A —— 系数, A 与静止床层高度 H_0 的关系如下:

H_0 (mm)	150	200	250	300
A	122.5	149.1	176.5	202.0

(5)临界气速 w_k

①无淋洒液时临界气速

【公式】 $w_k = \sqrt{\frac{2gd(\gamma - \gamma_g)\epsilon^3}{\Phi\gamma_g(1 - \epsilon)}}$ (m/s) (1-3-109)

式中 d —— 球直径(m)

γ_g —— 气体重度(N/m³)

γ —— 球的重度(N/m³)

ϵ —— 静止床层的空隙率(%)

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

Φ —— 阻力系数, 见表1-3-36

表1-3-36

阻力系数 Φ

球直径(mm)	材 料	Φw	备 注
38	赛璐珞	14.6	球表面喷漆
38	聚乙烯	12.0	
20	聚乙烯	5.0	
15	聚乙烯	8.0	

②当淋洒液体时的操作气速 w

【说明】当向床层淋洒液体时,在实际应用中可根据无淋洒时临界气速来确定操作气速 w 。

【公式】 $w = Kw_k$ (m/s) (1-3-110)

式中 w —— 操作气速(m/s)

w_k —— 无淋洒液体时临界气速(m/s)

K —— 系数, 取1.5~3.0, 淋洒量大者取小值

四、酸液的组成计算

(一)酸液的组成成分计算

【说明】生产中称亚硫酸盐蒸煮液中的化合 SO_2 为化合酸, 以 C. A. 表示; 游离 SO_2 为游离酸, 以 F. A. 表示; 总 SO_2 为总酸, 以 T. A. 表示。酸液的组成通常以 SO_2 的百分率表示。习惯上以 100mL 酸液中所含 SO_2 的克数表示, 即粗略地将酸液的相对密度视为 1。

【公式】

$$\text{T. A.} = \text{F. A.} + \text{C. A.} \quad (1-3-111)$$

【例】已知钙盐酸液的组成为 T. A. = 3.5%, C. A. = 1.3%, 求游离酸的含量。

$$\begin{aligned} \text{解: } \text{F. A.} &= \text{T. A.} - \text{C. A.} \\ &= 3.5\% - 1.3\% = 2.2\% \end{aligned}$$

(二) 酸液中盐基含量的计算

【说明】对酸液中的盐基, 常以它们各自的氧化物或易见形式来表示。它们的含量均可通过各自化合酸 (C. A.) 的含量算得。

【公式】

$$\left. \begin{aligned} \text{MgO}\% &= \left(\frac{40.32}{62}\right) \text{C. A.} = 0.625 \text{C. A.} \\ \text{CaO}\% &= \left(\frac{56}{64}\right) \text{C. A.} = 0.875 \text{C. A.} \\ \text{NH}_3\% &= \left(\frac{34}{64}\right) \text{C. A.} = 0.531 \text{C. A.} \\ \text{Na}_2\text{O}\% &= \left(\frac{62}{64}\right) \text{C. A.} = 0.969 \text{C. A.} \end{aligned} \right\} \quad (1-3-112)$$

【例】已知某药槽亚硫酸盐药液中, 每升药液内含有化合 SO_2 为 32 克, 游离 SO_2 为 1 克, 求: ① 此药液中各种酸的含量; ② 求各种盐基组分的含量; ③ 判断药液的组成。

$$\text{解: } \text{① 化合酸含量 C. A.} = \frac{32}{1000} \times 100 = 3.2 (\text{g}/100\text{mL}) = 3.2\%$$

$$\text{游离酸含量 F. A.} = \frac{16}{1000} \times 100 = 1.6 (\text{g}/100\text{mL}) = 1.6\%$$

$$\begin{aligned} \text{总酸 T. A.} &= \text{C. A.} + \text{F. A.} \\ &= 3.2 + 1.6 = 4.8 (\text{g}/100\text{mL}) \\ &= 4.8\% \end{aligned}$$

② 若为铵基药液, 则其盐基浓度为:

$$\text{NH}_3\% = 0.531 \text{C. A.} = 0.531 \times 3.2\% = 1.70\%$$

若为钠盐基药液, 则其盐基浓度为:

$$\text{Na}_2\text{O}\% = 0.969 \times 3.2 = 3.10\%$$

同理, 若为镁盐时, 其盐基浓度为: $\text{MgO}\% = 0.625 \times 3.2 = 2.00\%$

③ 因为 $\text{C. A.} / \text{F. A.} = 3.2 / 1.6 > 1$, 所以, 镁盐基药液有酸式盐和正盐存在, 而有可能因有沉淀而显混浊。此外, 也正因如此, 钙盐基不能具有这种组成的药液, 否则, 药液将会含有大量正盐沉淀。

(三) 酸液成分的组成判断计算

【说明】以 C. A. 与 F. A. 的比值大小, 我们可以推知药液中各种成分的有无。其判断原则是: 当 $\frac{\text{C. A.}}{\text{F. A.}} > 1$ 时, 有酸式盐和正盐存在; 若 $\frac{\text{C. A.}}{\text{F. A.}} \rightarrow \infty$, 则只有正盐; 当 $\frac{\text{C. A.}}{\text{F. A.}} = 1$ 时, 只有酸式盐存在; 当 $\frac{\text{C. A.}}{\text{F. A.}} < 1$ 时, 则有酸式盐、亚硫酸或有溶解的二氧化硫存在。

第二节 酸法蒸煮的工艺计算

一、酸法蒸煮理论计算

(一) 脱木素的反应速率计算

【说明】酸法蒸煮反应速率与温度的关系同碱法蒸煮一样,同样符合阿伦尼乌斯(Arrhenius)方程,计算方法可参考碱法蒸煮。

【公式】
$$\log K = A - \frac{E}{2.303RT} \quad (1-3-113)$$

式中 K —— 反应速度常数

A —— 常数

E —— 反应活化能(约为87923J/mol,即约为21kcal/mol)

T —— 绝对温度(K)

R —— 气体常数[8.32J/(mol·K)]

(二) 脱木素反应的瞬时速率计算

【说明】经验公式1-3-114表示木片蒸煮在某一瞬时,脱木素速率的大小。

【公式】
$$K' = K(P_{SO_2})^n \quad (1-3-114)$$

式中 K' —— 瞬时速率

K —— 按阿伦尼乌斯方程式计算的反应速度常数

P_{SO_2} —— 某一温度时,锅内总压力减去蒸汽冷凝压力得到的 SO_2 分压的估计数值

n —— 小于1的常数

(三) 有效蒸煮时间的计算

【说明】在其它条件不变的情况下,若采用不同温度和时间而制得同一质量要求的纸浆时,则在任何两次有效蒸煮时间和温度之间,存在着一定的联系。因此,在任一确定蒸煮温度下的有效蒸煮时间可用式1-3-115计算。

【公式】

$$t = t_i 1.9^{\frac{T_i - T}{10}} \quad (1-3-115)$$

式中 t —— 在准备采取的温度(T)下需要的有效蒸煮时间(h)

T —— 准备采取的温度(°C)

T_i —— 给定的标准温度(°C)

t_i —— 温度 T_i 下的有效蒸煮时间(h)

【例】试验得知,当 $T_i = 140^\circ\text{C}$ 及 $t_i = 3.65\text{h}$ 的时候,蒸煮效果很好。现在,其它条件不变,准备把温度改为 $T = 120^\circ\text{C}$,求需要的有效蒸煮时间。

解:
$$t = t_i 1.9^{\frac{T_i - T}{10}} = 3.65 \times 1.9^{\frac{140 - 120}{10}} = 3.65 \times 1.9^2 = 13.2(\text{h})$$

二、酸法蒸煮工艺计算

(一) 每米³锅容风干粗浆产量的计算

【公式】
$$G = \frac{Wk}{0.9 \times 100} \quad (\text{kg/m}^3 \text{锅容}) \quad (1-3-116)$$

式中 K —— 蒸煮得率(%)

0.9 —— 换算为风干重的系数

W —— 绝干原料装入量(kg/m^3)

$$W = \gamma a$$

γ —— 木材的绝干实积密度(kg/m^3)

a —— 装入的木片量(m^3 实积/ m^3 锅容),当采用自然装锅时, $a = 0.32$;当用湿木片时, a 取0.34;当采用密积装锅时, a 值见表1-3-37

表1-3-37

不同密积度时的木片装入量

密积度	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
干木片时 a 值	0.35	0.37	0.38	0.40	0.42	0.44
湿木片时 a 值	0.37	0.39	0.40	0.42	0.44	0.46

(二) 蒸煮 H 因子的计算

【说明】同碱法制浆一样, H 因子同样可用于酸法制浆。实验证明,当最高温度为125~165℃,最高压力为343~931kPa(3.5~9.5 kg/cm^2)的情况下,如果保持相同的 H 因子,所得浆的得率及氯价相等。 H 因子的计算与碱法制浆方法相同。其值为蒸煮相对反应速率与时间的乘积。酸性亚硫酸盐法相对反应速率见表1-3-38。

【公式】 $\ln K = B - \frac{E}{RT}$ (1-3-117)

式中 B —— 常数

K —— 相对反应速率

E —— 活化能(J/mol),取83736J/mol(20000cal/mol)

R —— 气体常数,8.32J/(mol·K)

(三) 蒸煮度的计算

【说明】蒸煮反应速率对时间的积分叫蒸煮度,用 CD 表示。如果温度不变,蒸煮速率与 SO_2 的分压成正比。速率用 $K(P_{\text{SO}_2})^n$ (见式1-3-114)表示,试验证明 $n = 0.75$ 。用锅后压力减去蒸汽压力及流体静压得出 SO_2 分压,则速率 $K' = K(P_{\text{SO}_2})^{0.75}$ 。蒸煮度的计算可对一段时间间隔,用梯形法在这两个时间间隔内积分。这种方法虽不精确,但已能满足实验的要求,而且简单易作。

【例】经测验,不同时间的温度、压力和速度的计算结果见表1-3-39;计算温度从80℃升到139℃1h和在140℃下保温2.5h的蒸煮度以及总蒸煮度。

解:①从80℃升到139℃用1h

$$CD = \frac{1}{4} \left[\frac{1}{2} (3 + 225) + 8 + 29 + 98 \right] = 62$$

②在140℃保温2.5h

$$CD = \frac{3.5-1}{5} \left[\frac{1}{2} (225 + 207) + 225 + 230 + 216 + 210 \right] = 550$$

③蒸煮全过程的总蒸煮度:

$$CD = 62 + 550 = 612$$

(四) 送液前从锅内排除空气量的计算

【说明】排除木片中的空气能有效地改善蒸煮液对木片的浸透。有效地排除木片中空气的方法有:汽蒸、气相变压或在汽蒸之后抽真空。

表1-3-38

酸性亚硫酸盐法蒸煮的相对反应速率

温 度	相对反应速率	温 度	相对反应速率	温 度	相对反应速率
50	0.0153	125	5.45	155	32.13
60	0.039	126	5.81	156	33.93
70	0.0944	127	6.19	157	35.84
80	0.216	128	6.59	158	38.83
90	0.475	129	7.01	159	39.94
100	1.01	130	7.46	160	42.15
101	1.07	131	7.94	161	44.47
102	1.15	132	8.44	162	46.91
103	1.24	133	8.98	163	49.91
104	1.33	134	9.54	164	52.15
105	1.43	135	10.14	165	54.97
106	1.53	136	10.77	166	57.92
107	1.64	137	11.43	167	61.02
108	1.76	138	12.14	168	64.28
109	1.89	139	12.88	169	67.68
110	2.02	140	13.67	170	71.25
111	2.17	141	14.50	171	75.00
112	2.32	142	15.37	172	78.92
113	2.48	143	16.29	173	83.03
114	2.66	144	17.27	174	87.33
115	2.84	145	18.30	175	91.84
116	3.04	146	19.38	176	96.55
117	3.24	147	20.52	177	101.5
118	3.47	148	21.72	178	106.6
119	3.70	149	22.99	179	122
120	3.95	150	24.32	180	117.7
121	4.22	151	25.73		
122	4.50	152	27.21		
123	4.80	153	28.76		
124	5.11	154	30.40		

【公式】

$$Q = 1 - \left(\frac{W}{1.47} + \frac{Wm}{1-m} \right) \quad (1-3-118)$$

式中 Q —— 排除空气量(m^3/m^3 锅容)

W —— 每米³锅容装入绝干原料量(t/m^3 锅容)

m —— 木片的相对水分(用小数表示)

1.47 —— 木材的相对密度

(五)送液量的计算

【说明】送液应送满。在木片中空气完全排除的情况下的送液量为最大送液量($V_{\text{最大}}$)；但在一般情况下，木片中的空气无法完全排除，因此，实际送液量($V_{\text{液}}$)要小于

最大送液量。

【公式】

$$V_{\text{最大}} = V_{\text{锅}} - V_{\text{木}} - V_{\text{空}} \quad (\text{m}^3) \quad (1-3-119)$$

$$V_{\text{液}} = V_{\text{锅}} - V_{\text{木}} - V_{\text{吸收}} \quad (\text{m}^3) \quad (1-3-120)$$

式中 $V_{\text{锅}}$ ——蒸煮锅容积(m^3)

$V_{\text{木}}$ ——装入木片体积(实积 m^3)

$V_{\text{空}}$ ——木片中空气体积(m^3)

$V_{\text{吸收}}$ ——送液时为木片吸收的蒸煮液体积(m^3),当使用干木片(水分在35%以下)时,在送入冷酸液的情况下, $V_{\text{吸收}} = (10 \sim 20\%)$ 木片体积;在汽蒸情况下,由于木片被加热到70℃左右, $V_{\text{吸收}} = (30 \sim 40\%)$ 木片体积;在送液前从木片和锅内排除空气的情况下, $V_{\text{吸收}} = (40 \sim 50\%)$ 木片体积

表1-3-39

不同温度及压力时的速率

时间(h)	温度(℃)	压力(kPa)	$K (\text{PSO}_2)^{0.75}$
0.0	80	144.79	3
0.25	95	179.26	8
0.5	110	282.69	29
0.75	125	448.16	98
1.00	139	551.58	225
1.00	139	551.58	225
1.50	139	551.58	225
2.00	140	551.58	230
2.50	140	524.00	216
3.00	140	517.11	210
3.50	140	510.21	207

三、蒸煮蒸汽用量的计算及实例

【说明】蒸汽用量取决于蒸煮液的初温、液比、得率、通汽方式和蒸煮初温。

【例】计算蒸煮1t 风干浆,消耗于加热锅内容物的热量(不包括装锅时耗用的蒸汽)。

已知条件:

蒸煮锅:直径6.3m、高13.65m

净体积293 m^3

表面积269 m^2

钢板厚28mm

保温层厚60mm

锅体重70t

耐酸砖重95t

比热:木材1.424 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

铁0.481 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

蒸煮液和水4.1868 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

耐酸砖 $0.837\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$

装锅量:绝干木片 50t

木片水分 $50\text{t}/\text{锅}$ (汽装锅后)

送液 190t

装锅密度: $50 \times \frac{1000}{293} = 170(\text{kg}/\text{m}^3)$

液比: $\frac{190+50}{50}:1=4.8:1$

粗浆量: 26.7t (10% 水分)

粗浆得率: $26.9 \times \frac{0.9}{50} = 48.2\%$

装锅后木片温度: 50°C

蒸煮最高温度: 134°C

通汽时间: 4.5h

总时间: 8.0h

计算项目及结果:

1. 蒸煮耗热量的计算 Q_s

① 加热木片用热量 Q_1

$$Q_1 = 50 \times 1000 \times 1.424(134 - 50) = 5978750(\text{kJ}/\text{锅})$$

② 加热木片水分用热量 Q_2

$$Q_2 = 50 \times 1000 \times 4.1868(134 - 50) = 17584560(\text{kJ}/\text{锅})$$

③ 加热蒸煮液用热量 Q_3

$$Q_3 = 190 \times 1000 \times 4.1868(134 - 50) = 66821328(\text{kJ}/\text{锅})$$

④ 加热耐酸砖用热量 Q_4

$$Q_4 = 95000 \times 0.837(120 - 80) = 3181968(\text{kJ}/\text{锅})$$

⑤ 加热锅体用热量 Q_5 (始温 65°C ,终温 95°C)

$$Q_5 = 70000 \times 0.481(95 - 65) = 1011112.2(\text{kJ}/\text{锅})$$

⑥ 加热保温材料用热量 Q_6

$$Q_6 = 0$$

⑦ 保温材料表面辐射热损失 Q_7

$$Q_7 = KA(t_2 - t_1)T \quad (1-3-121)$$

式中 A —— 锅体保温材料表面积, 274m^2

t_2 —— 平均蒸煮温度, $\frac{134+50}{2} = 92(^{\circ}\text{C})$

t_1 —— 室内温度, 20°C

T —— 放热时间, 4.5h

K —— 总传热系数

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

α_1 —— 锅内液侧传热系数, $12560.4\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$

δ_1 —— 耐酸砖厚, 0.18m

δ_2 —— 钢板厚, 0.028m

δ_3 —— 保温层厚, 0.06mm

λ_1 —— 耐酸砖导热系数, 2.512kJ/(m·h·°C)

λ_2 —— 钢板导热系数, 209.34kJ/(m·h·°C)

λ_3 —— 保温材料导热系数, 0.628kJ/(m·h·°C)

α_2 —— 对流与辐射传热系数[kJ/(m²·h·°C)]

$$\alpha_2 = \alpha_1' + \alpha_2' \quad (1-3-122)$$

α_1' —— 对流传热系数[kJ/(m²·h·°C)]

$$\begin{aligned} \alpha_1' &= 9.21 \sqrt[4]{t_3 - t_4} = 2.2 \sqrt[4]{40 - 20} \\ &= 19.34 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})] \end{aligned} \quad (1-3-123)$$

t_3 —— 保温材料表面温度, 40°C

t_4 —— 室温, 20°C

α_2' —— 辐射传热系数[kJ/(m²·h·°C)]

$$\begin{aligned} \alpha_2' &= 20.43 \epsilon \left[\left(\frac{273 + t_3}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_4}{100} \right)^4 \right] \\ &= 20.43 \times 0.8 \left[\left(\frac{273 + 40}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + 20}{100} \right)^4 \right] \\ &= 18.17 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})] \end{aligned} \quad (1-3-124)$$

ϵ —— 保温材料表面硅藻土黑度系数, 取0.8

$$\text{则 } \alpha_2 = \alpha_1' + \alpha_2' = 19.34 + 18.17 = 37.51 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})]$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{\frac{1}{12560.4} + \frac{0.18}{2.512} + \frac{0.028}{209.34} + \frac{0.06}{0.628} + \frac{1}{37.51}} \\ &= 5.15 [\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_7 &= KA(t_2 - t_1) = 5.15 \times 274(92 - 20) \times 4.5 \\ &= 457617.24 (\text{kJ}/\text{锅}) \end{aligned}$$

⑧小放汽损失 Q_8 (取 Q_8 为总汽量的5%)

$$\begin{aligned} Q_8 &= (Q_1 + \dots + Q_7) \times \frac{5\%}{1 - 5\%} \\ &= 5001859.4 (\text{kJ}/\text{锅}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } Q_{\text{总}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 \\ &= 100038560 (\text{kJ}/\text{锅}) \end{aligned}$$

2. 蒸汽用量的计算 D

已知: 蒸汽表压为490000Pa

温度180°C

$$\text{锅内算术平均温度 } t = \frac{(134 + 20) + (50 + 120)}{2} = 122 (^\circ\text{C})$$

蒸汽热焓 $r = 2813.53 (\text{kJ}/\text{kg})$

$$\begin{aligned} \text{则 } D &= \frac{Q}{r - t \cdot c} = \frac{100038560}{2813.53 - 4.1868 \times 122} \\ &= 43495 (\text{kg}/\text{锅}) \\ &= \frac{43495}{26.7} = 1.63 (\text{t 汽}/\text{t 风干粗浆}) \end{aligned}$$

3. 单位绝干木材耗热量 Q_1'

$$Q' = \frac{Q_{\text{干}}}{\text{绝干木片重}} = \frac{100038560}{50000} \\ = 2000 (\text{kJ/kg 绝干木材})$$

四、蒸煮锅的有关计算

(一) 蒸煮锅的比表面积计算 α

【说明】单位体积的锅容所具有的表面积,称为比表面积。蒸煮锅的比表面积见表1-3-40。

【公式】

$$\alpha = \frac{A}{V} \quad (\text{m}^2/\text{m}^3) \quad (1-3-125)$$

式中 A —— 锅的表面积(m^2)

V —— 锅的容积(m^3)

(二) 蒸煮锅的生产能力计算

表1-3-40 蒸煮锅的比表面积

锅的容积 (m^3)	在锅的高度对直径之比等于下列 数值时蒸煮锅的比表面积 α		锅的容积 (m^3)	在锅的高度对直径之比等于下列 数值时的蒸煮锅的比表面积 α	
	2.2	2.4		2.2	2.4
100	1.05	1.17	250	0.77	0.87
150	0.91	1.02	300	0.73	0.81
200	0.83	0.93	350	0.69	0.78

【公式】 $Q = \frac{GVT_1}{T} \quad (\text{kg/d}) \quad (1-3-126)$

式中 G —— 每米³锅容的风干粗浆产量(kg/m^3),其值见表1-3-41

V —— 蒸煮锅容积(m^3)

T —— 蒸煮总时间(h),见表1-3-41

T_1 —— 平均日有效运行时间,一般取22.5h

(三) 蒸煮锅的台数选择计算

【说明】蒸煮锅台数的选择可根据蒸煮所需的锅容总体积计算。

【公式】 $V = \frac{QT}{T_1 G} \quad (\text{m}^3) \quad (1-3-127)$

式中符号含义及单位同式1-3-126

【例】已知条件:

年产溶解浆:65000t

原料:云杉、冷杉

蒸煮方法:酸性亚硫酸盐法

年运行时间:325d

蒸煮总周期 T :8.5h

日运行时间 T_1 :22.5h

每米³锅容风干粗浆产量 G :87kg

成品率:80%

表1-3-41

总蒸煮时间和单位锅容的风干粗浆产量

原 料	蒸 煮 方 法	产 品	蒸煮压力 (kPa)	总蒸煮时间 (时:分)	每 m ³ 锅容风干 粗浆产量(kg)	装锅方法
云杉、冷杉	酸性亚硫酸盐钙	造纸浆	637.6	7:20	92.5	蒸汽装锅
杨 木	酸性亚硫酸盐钙	造纸浆	686.7	7:20	99	蒸汽装锅
马尾松	酸性亚硫酸盐钙	造纸浆	686.7	6:30	85	自然装锅
云杉、冷杉	酸性亚硫酸盐钙	溶解浆	833.9	8:30	86~88	蒸汽密积
落叶松	亚硫酸氢钠	造纸浆	784.8	10:10	85~91	自然装锅
芦 苇	亚硫酸氢钠	造纸浆	637.7	4:40	94	自然装锅
蔗 渣	亚硫酸氢钠	造纸浆	588.6	5:30	83.5	自然装锅

解: 日产成品溶解浆 = $\frac{65000}{325} = 200(\text{t/d})$

日产粗浆 $Q = \frac{200}{0.8} = 250(\text{t/d})$

所需蒸煮锅总容积 V :

$$V = \frac{QT}{T_1 G} = \frac{250 \times 1000 \times 8.5}{87 \times 22.5} = 1082(\text{m}^3)$$

可选220m³复合钢板蒸煮锅5台, 总容积为1100m³。

(四) 蒸煮锅锅体的钢壳厚度计算

【公式】

$$S_1 = \frac{DP_x}{200K_1 Z_1} + 1 + 15\% \quad (1-3-128)$$

$$S_2 = \frac{RP}{200K_2 Z_2} + 1 + 15\% \quad (1-3-129)$$

式中 S_1 —— 圆筒部锅壁厚(mm)

S_2 —— 球部锅壁厚(mm)

D —— 圆筒部直径(mm)

R —— 球部半径(mm)

P —— 最大工作压力(atm), 根据最高蒸煮压力而定

x —— 铆接或焊接安全系数, 一般可按表1-3-42选择

K_1 —— 钢板抗拉强度(kg/mm²), 根据使用钢板强度而定, 参见德国标准(表1-3-43)和原苏联标准(表1-3-44)

K_2 —— 许用抗拉应力(kg/mm²), 根据钢板抗拉强度及安全系数而定, 一般在6.5 kg/mm²左右

Z_1 —— 锅壁纵向强度系数, 根据焊接及铆接情况而定, 见表1-3-45

表1-3-42

安全系数

搭接或单盖板铆接	双盖板一行铆接或双行铆接	双盖板双行铆接或多行铆接	电 焊
5.35	4.80	4.50	5.50

表1-3-43

德国标准

	抗拉强度(kg/mm ²)	伸长率(%)
圆筒部	>41	>23
圆锥部	>34	>25

(1kg/mm²=9.81×10⁶Pa)

表1-3-44

原苏联标准 ГОСТ 5520-50

钢 号	抗拉强度(kg/mm ²)	降伏点(t=20℃)(kg/mm ²)	伸 长 率	
			δ ₁₀	δ ₅
15K	36~44	22	24~21	28~25
20K	41~50	25	22~19	26~23

(1kg/mm²=9.81×10⁶Pa)

表1-3-45

锅壁纵向强度系数

电 焊	焊 接					
	单行搭接	双行搭接	三行搭接	单行双盖板	双行双盖板	三行直边盖板
0.8左右	0.6	0.7	0.75	0.7	0.8	0.85

Z₂——含义同 Z₁, 其值见表1-3-45

15% —— 腐蚀裕量

原苏联某研究机关提出的圆筒部钢板的厚度计算式为:

$$S_1 = \frac{PD_1}{(230K - P)\Phi} + C \text{ (mm)} \quad (1-3-130)$$

式中 S₁ —— 圆筒部钢板厚度(mm)P —— 最大许用工作压力(kg/mm²)D₁ —— 圆筒部直径(mm)K —— 许用抗拉强度(kg/mm²)

Φ —— 锅筒壁纵向接缝强度系数

C —— 附加量

五、亚硫酸盐法草浆的蒸煮工艺计算

【说明】由于草类原料的半纤维素含量高,为了提高制浆得率及纸浆的强度,应尽量设法保存纸浆中的多戊糖。因此,必须采用低总酸、高化合酸的蒸煮液,以提高酸液的 PH 值,减少纤维素及半纤维素的水解,目前我国采用的是镁盐。

(一) 蒸煮酸的配制计算

	塔 酸	蒸 煮 酸
T. A. %	4.4	2.6
C. A. %	2.2	1.8
F. A. %	2.2	0.8
C. A. / F. A.	1	2.25

【说明】由于亚硫酸镁的溶解度比较低,在制酸过程中若有过量的亚硫酸镁存在,将形成沉淀析出。严重时会使管路及吸收塔完全堵塞。为使生产正常进行,塔酸的酸比应控制在小于等于1。但亚硫酸镁的溶解度是随着温度的升高而增大的,蒸煮酸中的亚硫酸镁虽也有可能沉淀在纤维原料上,随着温度的升高,尤其是在木素磺酸溶出后增加了溶液中氢

离子浓度,可以生成亚硫酸氢镁重新进入溶液,充分发挥了亚硫酸镁的缓冲作用。所以,蒸煮酸和塔酸的组成有较大的区别:

因此,蒸煮酸和塔酸比较,具有较低的总酸和较高的酸比。

1. 塔酸需要量的计算

【公式】

$$Q = Q_1 - Q_2 \quad (1-3-131)$$

式中 Q —— 塔酸需要量(m^3)

Q_1 —— 蒸煮的总 SO_2 量(m^3)

Q_2 —— 回收液中总 SO_2 量(m^3)

2. 氧化镁补充量的计算

【公式】

$$W = W_1 - W_2 - W_3 \quad (1-3-132)$$

式中 W —— 氧化镁补充量(kg)

W_1 —— 蒸煮液中总氧化镁量(kg)

W_2 —— 塔酸中的氧化镁量(kg)

W_3 —— 回收液中的氧化镁量(kg)

3. 补充水量计算

【公式】

$$G = G_1 - G_2 - G_3 \quad (1-3-133)$$

式中 G —— 补充水量(m^3)

G_1 —— 蒸煮所需总酸量(m^3)

G_2 —— 塔酸量(m^3)

G_3 —— 回收液量(m^3)

4. 蒸煮酸的配制计算实例

【例】若塔酸的组成为 T. A. % = 4.5%, C. A. % = 2.2%, 氧化镁的纯度为 92%; 规定蒸煮时的送液量为 $107m^3$, 组成为 T. A. = 3.1%, C. A. = 2.3%; 液体回收的药液量为 $40m^3$, 平均组成为 T. A. = 1.7%; C. A. = 0.85%, 求: ①塔酸需要量; ②氧化镁补充量; ③补充水量。

解: ①塔酸需要量 Q

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 - Q_2 \\ &= \frac{107 \times 3.1\% - 40 \times 1.7\%}{4.5\%} \\ &= 58.5(m^3) \end{aligned}$$

②氧化镁补充量 W

$$\begin{aligned} W &= W_1 - W_2 - W_3 \\ &= \frac{107 \times 2.3\% - 40 \times 0.85\% - 58.5 \times 2.2\%}{1.6 \times 92\%} \times 1000 \\ &= 615(kg) \end{aligned}$$

式中 1.6 —— SO_2 与 MgO 的摩尔质量之比, 即 $64/40.32 = 1.6$

1000 —— 将酸液的相对密度视为 1, 将吨(t)换算为千克(kg)

③补充水量 G

$$\begin{aligned} G &= G_1 - G_2 - G_3 \\ &= 107 - 40 - 58.5 \end{aligned}$$

$$=8.5(\text{m}^3)$$

(二) 苇浆中木素含量与卡伯值的关系

【说明】芦苇中性亚硫酸钠半化学浆，纸浆木素含量在15%~1%时，与卡伯值成直线关系。

【公式】

$$C(\%) = 0.129B - 2.84 \quad (1-3-134)$$

式中 C —— 木素含量(%)

B —— 卡伯值

六、亚硫酸氢盐法蒸煮的工艺计算

(一) 盐基补充量及补充水量的计算及实例

【说明】在亚硫酸氢盐法蒸煮时，蒸煮酸的酸比[化合酸(C. A.)/游离酸(F. A.)]等于1或大于1的情况很多。因此，就需要将原酸在送入蒸煮锅时补充大量的盐基；同时，也需要补充一定的水量。

【例】设原酸的 T. A. = 5.0%，C. A. = 2.5%，C. A. / F. A. = 1.0，要求配制蒸煮酸 100m³的 T. A. = 3.6%，C. A. / F. A. = 3.0 的蒸煮液。若使用 40m³ T. A. = 1.7%，C. A. = 0.85% 的回收液，求：①原酸量；②MgO 补充量(MgO 的纯度为90%)；③补充水量。

解：①蒸煮酸的组成含量

$$\frac{\text{C. A.}}{\text{F. A.}} = 3.0 \quad \frac{\text{T. A.} - \text{F. A.}}{\text{F. A.}} = 3.0$$

$$\text{游离酸 F. A.} = \frac{\text{T. A.}}{4} = \frac{3.6\%}{4} = 0.9\%$$

$$\text{化合酸 C. A.} = \text{T. A.} - \text{F. A.}$$

$$= 3.6\% - 0.9\% = 2.7\%$$

$$\text{需要原酸量 } Q = \frac{100 \times 36\% - 40 \times 1.7\%}{5.0\%} = 58.4(\text{m}^3)$$

②MgO 补充量 W

$$W = \frac{(100 \times 2.7\% - 40 \times 0.85\% - 58.4 - 2.5\%) \times 0.63 \times 1000}{90\%} = 625(\text{kg})$$

式中 0.63 —— SO₂ 换算为 MgO 的换算因子，即 $\text{MgO}/\text{SO}_2 = \frac{40.32}{64} = 0.63$

1000 —— 将吨(t)换算为千克(kg)的换算因子

③100m³蒸煮酸中，水的补充量 G

$$G = 100 - 40 - 58.4 = 1.6(\text{m}^3)$$

(二) 用硫率的计算

【说明】亚硫酸氢盐蒸煮液 pH 值高，气相回收的 SO₂ 不多。从经济上考虑不宜使用过量的 SO₂。蒸煮纸浆的硬度主要决定于 SO₂ 的用量。用硫量是药液的总酸与液比的乘积。

【公式】

$$m = \frac{C - C_1}{G} \times 100\% \quad (1-3-135)$$

式中 m —— 用硫率(%)

C —— 入锅的总 SO₂ 量(kg)

C_1 —— 回收 SO₂ 量(kg)

G —— 绝干原料量(kg)

【讨论】蒸煮的用硫率影响纸浆的硬度。药液的浓度影响不显著。因此，当药液浓度或木片水分波动时，可在液体回收时调整回收量，用一定的用硫率来控制纸浆的硬度一致。纸浆的硬度控制在30~50之间的卡伯值耗硫最低，粗渣可控制在1%以下。落叶松纸浆的卡伯值在35~45时，用硫率为18~19%。

第四章 中性亚硫酸盐法蒸煮的工艺计算

第一节 中性亚硫酸盐法蒸煮脱木素 反应的动力学方程

【说明】早在 1968 年 N·C·Schari 对杨木木片中性亚硫酸盐蒸煮动力学进行了研究,在注意蒸煮温度和时间影响的同时,也考虑了蒸煮药液浓度对制浆反应的效应。chari 认为脱木素速率与反应物浓度成比例。

【公式】

$$\gamma_L = -\frac{dL}{dt} = me^{-\frac{E}{RT}} L^c S^d \quad (1-4-1)$$

$$\gamma_L \cong 1.6798 \times 10^{11} e^{-\frac{27975}{T}} L^{2.1825} S^{0.4210} \quad (1-4-2)$$

式中 γ_L —— 脱木素速率[木素除去量 g/(100g 绝干木片·min)]

t —— 时间(min)

E —— 阿仑尼乌斯活化能(J/mol)

R —— 气体常数,8.32J/(mol·K)

T —— 反应温度(K)

L —— 木素浓度(g/100g 绝干木片)

S —— Na_2SO_3 在蒸煮液中的浓度(g/L)(以 Na_2O 计)

m, c, d —— 常数

第二节 中性亚铵法蒸煮的工艺计算

一、亚铵用量的计算

【说明】亚铵用量指蒸煮时亚硫酸铵的用量(按 100% 的亚铵重量计)与绝干原料的重量百分比。

(一) 固体亚铵用量的计算

【公式】

$$G_1 = GC \quad (1-4-3)$$

$$C_1' = \frac{116}{134} C_1$$

$$G_2 = \frac{G_1}{C_1'}$$

式中 G_1 ——每球纯亚铵需要量(kg)

G ——每球装绝干原料量(kg)

C ——亚铵用量(%)

C_1 ——一水固体亚铵纯度(%)

C_1' ——一水固体亚铵中纯亚铵含量(%)

116——无水亚铵的摩尔质量

134——一水亚铵的摩尔质量

G_2 ——每球一水固体亚铵的需要量(kg)

【例 1】某厂蒸煮工艺条件为：每球装绝干原料 2800kg，原料水分 12%，亚铵用量 13%，氨水用量(以 NH_3 100% 计) 3.5%，液比 1:2.5，一水亚铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 的纯度为 85%，求每球一水固体亚铵的需要量。已知：固体亚铵为一级，亚氢铵含量 $\leq 1\%$ 。

解：因一级固体亚铵亚氢铵含量 $\leq 1\%$ ，故忽略不计。

每球纯亚铵需要量 $G_1 = GC$

$$G_1 = 2800 \times 13\% = 364(\text{kg})$$

$$\text{纯亚铵含量 } C_1' = \frac{116}{134} C_1$$

$$C_1' = \frac{116}{134} \times 85\% = 73.6\%$$

$$\text{每球 } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \text{ 需要量 } G_2 = \frac{G_1}{C_1'}$$

$$G_2 = \frac{364}{73.6\%} = 495(\text{kg})$$

(二) 液体亚铵需要量的计算

【公式】

$$C_2 = \frac{116}{99} C_3 \quad (1-4-4)$$

$$C_{\text{总}} = C + C_2 \quad (1-4-5)$$

$$G_3 = \frac{G_1}{C_{\text{总}}} \quad (1-4-6)$$

$$V = \frac{G_3}{\gamma} \quad (1-4-7)$$

式中 C_2 ——亚氢铵转化成亚铵的百分率

C_3 ——亚氢铵含量(%)

99——亚氢铵的摩尔质量

116——亚铵的摩尔质量

$C_{\text{总}}$ ——溶液中总亚铵的百分率(%)

C ——亚铵含量(%)

G_3 ——每球所需液体亚铵量(以重量计)(kg)

V ——每球所需液体亚铵量(m^3)

G_1 ——每球所需固体亚铵量(kg)

γ ——亚铵溶液的密度(kg/m^3)

【例 2】在例 1 中,若亚铵溶液中亚氢铵含量为 37.9%,亚铵含量为 35%,亚铵溶液的密度为 $1190 kg/m^3$,求所需液体亚铵的重量和体积。

解:亚氢铵转化成亚铵的百分率 C_2

$$C_2 = \frac{116}{99} C_3 = \frac{116}{99} \times 37.9 = 44.4\%$$

配制溶液中总亚铵百分率 C_{Σ}

$$C_{\Sigma} = C + C_2 = 35\% + 44.4\% = 79.4\%$$

每球所需液体亚铵重量 G_3

$$G_3 = \frac{G_1}{C_{\Sigma}} = \frac{364}{79.4\%} = 458.4 (kg)$$

每球所需液体亚铵体积 V

$$V = \frac{G_3}{\gamma} = \frac{458.4}{1190} = 0.385 (m^3)$$

二、中和氨和游离氨用量的计算

(一)综合计算法

【公式】 $W = GC'$ (1-4-8)

$$W_1 = G_3 C_2 \times \frac{99}{116} \quad (1-4-9)$$

$$W_2 = W_1 \times \frac{17}{99} \quad (1-4-10)$$

$$C_4 = \frac{W_2}{G} \times 100\% \quad (1-4-11)$$

$$W_3 = GC' - W_2 \quad (1-4-12)$$

$$C_5 = \frac{W_3}{G} \times 100\% \quad (1-4-13)$$

式中 W ——每球所需总氨量(kg)

G ——每球装绝干原料量(kg)

C' ——每球总氨量(%)

W_1 ——每球亚铵液中的亚氢铵量(kg)

W_2 ——转变亚氢铵为亚铵时所需 NH_3 量,即中和氨量(kg)

C_4 ——中和氨的百分率(%)

W_3 ——游离氨量(kg)

C_5 ——游离氨的百分率(%)

其它同上。

【例 3】在例 1 和例 2 中,已知每球总氨量为 3.5%,求中和氨和游离氨用量。

解:每球总氨量 W

$$W = GC' = 2800 \times 3.5 = 98 (kg) \text{ (以 } 100\% NH_3 \text{ 计)}$$

每球亚铵液中的亚氢铵量 W_1

$$\begin{aligned}
 W_1 &= G_3 C_2 \times \frac{99}{116} \\
 &= 458.44 \times 44.4\% \times \frac{99}{116} \\
 &= 173.7(\text{kg})
 \end{aligned}$$

中和氨量 W_2

$$\begin{aligned}
 W_2 &= W_1 \times \frac{17}{99} = 173.7 \times \frac{17}{99} \\
 &= 29.8(\text{kg})(\text{以 } 100\% \text{NH}_3 \text{ 计})
 \end{aligned}$$

中和氨的百分率 C_4

$$\begin{aligned}
 C_4 &= \frac{W_2}{G} \times 100\% \\
 &= \frac{29.8}{2800} \times 100\% \\
 &= 1.06\%
 \end{aligned}$$

游离氨量 W_3

$$\begin{aligned}
 W_3 &= GC' - W_2 \\
 &= 2800 \times 3.5\% - 29.8 \\
 &= 68.2(\text{kg})(\text{以 } 100\% \text{NH}_3 \text{ 计})
 \end{aligned}$$

游离氨的百分率 C_5

$$\begin{aligned}
 C_5 &= \frac{W_3}{G} \times 100\% = \frac{68.2}{2800} \times 100\% \\
 &= 2.44\%
 \end{aligned}$$

(二)分步计算法

1. 中和氨用量的计算

【说明】中和氨用量需根据亚铵蒸煮液中亚硫酸铵及亚硫酸氢铵的含量来确定。按化学反应：



即 1mol 质量的 NH_4HSO_3 (99g) 需要消耗 1mol 质量的中和氨 NH_3 (17g), 生成 1mol 质量的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ (116g)。

如果使用固体亚硫酸铵来配制蒸煮液, 根据固体亚铵的质量标准要求, 亚硫酸氢铵含量应在 1% 以下, 因此, 中和氨用量可忽略不计。如果使用亚硫酸铵溶液来配制蒸煮液, 溶液中主要成分是亚硫酸铵和亚硫酸氢铵, 它们之间有一定的比例关系, 通过测定溶液的相对密度, 查阅亚硫酸铵与亚硫酸氢铵溶液的相对密度与重量百分浓度的关系表 (见表 1-4-1), 就可以查出亚硫酸铵及亚硫酸氢铵的含量。

【公式】

$$M = \frac{100cd}{Mc} \quad (1-4-14)$$

$$P = \frac{17NC_2}{99C_1 + 116C_2} \times 100\% \quad (1-4-15)$$

式中 M —— 亚硫酸铵或亚硫酸氢铵的摩尔浓度 (mol/L)

c —— 亚硫酸铵或亚硫酸氢铵的重量百分浓度 (%)

d —— 亚铵蒸煮液相对密度

M_c —— 亚硫酸铵或亚硫酸氢铵的摩尔质量

P —— 中和氨百分率(对绝干原料计)(%)

N —— 蒸煮用亚铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3]$ 用量(对绝干原料)(%)

C_1 —— 蒸煮液中 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 的含量(%)查表 1-4-1

C_2 —— 蒸煮液中 NH_4HSO_3 的含量(%)查表 1-4-1

17、99、116 —— 分别为 NH_3 、 NH_4HSO_3 以及 $(\text{MH}_4)_2\text{SO}_3$ 的摩尔质量

【例 4】蒸煮用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 量为 13%(N)，液比 1:3，使用液体亚铵蒸煮液，测得相对密度为 1.19，查表 1-4-1 知 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 含量为 35.185%(C_1)， NH_4HSO_3 含量为 37.934%(C_2)，求中和氨的用量。

表 1-4-1 亚硫酸铵、亚硫酸氢铵溶液相对密度与重量百分浓度的关系

相对密度 24(°C)	亚硫酸铵 (%)	亚硫酸氢铵 (%)	相对密度 (24°C)	亚硫酸铵 (%)	亚硫酸氢铵 (%)
1.010	1.851	4.299	1.025	4.629	7.103
1.015	2.777	5.234	1.030	5.555	8.037
1.020	3.703	6.168	1.035	6.481	8.972
1.040	7.407	9.906	1.145	26.851	29.532
1.045	8.333	10.841	1.150	27.777	30.467
1.050	9.259	11.775	1.155	28.703	31.402
1.055	10.185	12.709	1.160	29.629	32.336
1.060	11.111	13.644	1.165	30.555	33.271
1.065	12.037	14.579	1.170	31.481	34.205
1.070	12.960	15.513	1.175	32.407	35.140
1.075	13.888	16.448	1.180	33.333	36.074
1.080	14.814	17.383	1.185	34.259	37.009
1.085	15.740	18.318	1.190	35.185	37.934
1.090	16.666	19.252	1.195	36.111	38.878
1.095	17.592	20.186	1.200	37.037	39.813
1.100	18.518	21.121	1.205	37.962	40.748
1.105	19.444	22.056	1.210	38.888	41.682
1.110	20.370	22.990	1.215	39.814	42.616
1.115	21.296	23.925	1.220	40.740	43.551
1.120	22.222	24.859	1.225	41.666	44.485
1.125	23.148	25.794	1.230	42.592	45.420
1.130	24.074	26.728	1.235	43.518	46.354
1.135	25.000	27.663	1.240	44.444	47.289
1.140	25.925	28.597	1.245	45.370	48.223

$$\begin{aligned}
 \text{解: } P &= \frac{17NC_2}{99C_1 + 116C_2} \times 100\% \\
 &= \frac{17 \times 13\% \times 37.934\%}{99 \times 35.185\% + 116 \times 37.934\%} \times 100\% \\
 &= 1.06\%
 \end{aligned}$$

2. 游离氨用量的计算

【说明】在亚硫酸铵蒸煮液中加入氨水后,先把蒸煮液中的亚硫酸氢铵中和为亚硫酸铵(这部分氨为中和氨),当继续加入氨水时为游离氨,同时形成 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3\text{—NH}_3$ 的缓冲体系。游离氨的加入量需根据蒸煮液中 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 的摩尔浓度和蒸煮液的 pH 值来计算。氨溶液的相对密度和浓度的关系见表 1-4-2。

表 1-4-2 氨溶液的相对密度和浓度的关系

相对密度 (15℃)	NH ₃ 含 量		相对密度 (15℃)	NH ₃ 含 量	
	(g/100g)	(g/L)		(g/100g)	(g/L)
1.000	0.00	0.00	0.994	1.37	13.6
0.998	0.45	4.5	0.992	1.84	18.2
0.996	0.91	9.1	0.990	2.31	22.9
0.988	2.80	27.7	0.934	17.42	162.7
0.986	3.30	32.5	0.932	18.03	168.1
0.984	3.80	37.4	0.930	18.64	173.4
0.982	4.30	42.2	0.928	19.25	178.6
0.980	4.80	47.0	0.926	19.87	184.2
0.978	5.30	51.8	0.924	20.49	189.3
0.976	5.80	56.6	0.922	21.12	194.7
0.974	6.30	61.4	0.920	21.75	200.1
0.972	6.80	66.1	0.918	22.39	205.6
0.970	7.31	70.9	0.916	23.03	210.9
0.968	7.82	75.7	0.914	23.68	216.3
0.966	8.33	80.5	0.912	24.33	221.9
0.964	8.84	85.2	0.910	24.99	227.4
0.962	9.35	89.9	0.908	25.65	232.9
0.960	9.91	95.1	0.906	26.31	238.3
0.958	10.47	100.3	0.904	26.98	243.9
0.956	11.03	105.4	0.902	27.65	249.4
0.954	11.60	110.7	0.900	28.33	255.0
0.952	12.17	115.9	0.898	29.01	260.5
0.950	12.74	121.0	0.896	29.69	266.0
0.948	13.31	126.2	0.894	30.37	271.5
0.946	13.88	131.3	0.892	31.05	277.0
0.944	14.46	136.5	0.890	31.75	282.6
0.942	15.04	141.7	0.888	32.50	286.6
0.940	15.63	146.9	0.886	33.25	294.6
0.938	16.22	152.1	0.884	34.10	301.4
0.936	16.82	157.4			

【公式】

$$[\text{OH}^-] = K \frac{M_{\text{NH}_3}}{2M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}} \quad (1-4-16)$$

$$\text{pH} = 14 + \lg K + \lg \frac{M_{\text{NH}_3}}{2M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}} \quad (1-4-17)$$

式中 $M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}$ —— $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 的摩尔浓度 (mol/L)

M_{NH_3} —— 氨水的摩尔浓度 (mol/L)

K —— 氨水的电离常数, $K = 1.8 \times 10^{-5}$

【例 5】蒸煮用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 量为 13% (对绝干原料), 液比 1:3, 要求蒸煮液 $\text{pH} = 9.0$, 求需要加入游离氨的量。

解: 以 1t 绝干原料为计算基准, 则蒸煮液中 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 浓度为:

$$C_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3} = \frac{13\% \times 1000 \times 1000}{3 \times 1000} = 43.34 (\text{g/L})$$

$$M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3} = \frac{43.34}{116} = 0.3736 (\text{mol/L})$$

氨水的摩尔浓度为:

$$\text{pH} = 14 + \lg K + \lg \frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3}}$$

$$9 = 14 + \lg 1.8 \times 10^{-5} + \lg \frac{M_{\text{NH}_3}}{2 \times 0.3736}$$

$$M_{\text{NH}_3} = 0.4151 (\text{mol/L})$$

加入氨水量为:

$$G = 17 M_{\text{NH}_3} = 17 \times 0.4151 = 7.057 (\text{g/L}) \\ = 7.057 (\text{kg/m}^3)$$

1 吨绝干原料加入氨水量:

$$G_1 = G \times \text{液比} \\ = 7.057 \times 3 = 21.17 (\text{kg}) (\text{以 } 100\% \text{NH}_3 \text{ 计})$$

氨水加入的百分率

$$C = \frac{G_1}{1000} \times 100\% = \frac{21.17}{1000} \times 100\% = 2.12\%$$

三、配制蒸煮液时补加水量的计算

【公式】

$$V_{\Sigma} = GE \quad (1-4-18)$$

$$V_1 = \frac{G}{1-W} - G \quad (1-4-19)$$

$$V = \frac{G_1}{\gamma} \quad (1-4-20)$$

$$V_2 = V_{\Sigma} - V - V_1 \quad (1-4-21)$$

式中 V_{Σ} —— 每球应加总液量 (m^3)

G —— 绝干原料量 (t)

E —— 液比 (t/m^3)

V_1 —— 原料带入水量 (m^3)

W —— 原料水分 (%)

V —— 每球亚铵液量(m^3)

G_1 —— 每球固体亚铵用量(kg)

γ —— 亚铵液密度(kg/m^3)

V_2 —— 每球应补加水量(m^3)

【例 6】在例 1~3 中,若原料水分为 12%,液体亚铵密度为 $1190\text{kg}/\text{m}^3$,求补加水的量。

解:每球应加总液量 $V_{\text{总}}$

$$V_{\text{总}} = GE = 2800 \times 2.5 = 7000(\text{kg}) = 7(\text{m}^3)$$

每球原料带入水量 V_1

$$V_1 = \frac{G}{1-W} - G = \frac{2800}{1-12\%} - 2800 = 328(\text{kg}) = 0.328(\text{m}^3)$$

每球亚铵液量 V

$$V = \frac{G_1}{\gamma} = \frac{458.4}{1190} = 0.385(\text{m}^3)$$

应补加水量 V_2

$$V_2 = V_{\text{总}} - V - V_1 \\ = 7 - 0.385 - 0.328 = 6.233(\text{m}^3)$$

$$\text{或补加水量} = 7000 - 382 - 458.4$$

$$= 6159.6(\text{kg})$$

$$= 6.1596(\text{t})$$

四、纸浆高锰酸钾值与卡伯值及木素含量之间的关系

【说明】下述关系式适用于纸浆卡伯值在 17.6~46.7 之间。

$$\text{【公式】 高锰酸钾值} = 0.644 \text{ 卡伯值} - 0.94 \quad (1-4-22)$$

$$\text{木素}(\%) = 0.114 \text{ 卡伯值} - 0.443 \quad (1-4-23)$$

【例】某厂用亚铵法制可漂麦草半化学浆,蒸煮浆硬度卡伯值为 43,试转换成高锰酸钾值并求出木素残留量。

$$\text{解:高锰酸钾值} = 0.644 \times 43 - 0.94 = 26.75$$

$$\text{木素含量} = 0.114 \times 43 - 0.443 = 4.459\%$$

第三节 亚铵废液的浓度计算

【说明】亚铵蒸煮废液的实测波美度,与常温 20°C 时的波美度可用下式进行换算。

【公式】

$$^{\circ}\text{Bé}(t) = ^{\circ}\text{Bé}(20) - A(t - 20) \quad (1-4-24)$$

式中 $^{\circ}\text{Bé}(20)$ —— 20°C 时的波美度

$^{\circ}\text{Bé}(t)$ —— $t^\circ\text{C}$ 时的波美度

t —— 测定时的温度($^\circ\text{C}$)

A —— 温度修正系数, A 值随温度的变化稍有不同,当温度在 $20\sim 30^\circ\text{C}$ 时,取 0.036;当温度在 $30\sim 40^\circ\text{C}$ 时,取 0.0400

第五章 机械法磨浆的工艺与设备计算

第一节 磨石磨木机的磨浆机理计算

一、比磨碎时间的计算

【说明】比磨碎时间表示磨石转动一个磨纹间距的时间。

【公式】

$$t_s = \frac{a}{V} \quad (1-5-1)$$

式中 t_s —— 比磨碎时间(s)
 a —— 相邻两磨纹的间距(mm)
 V —— 磨石圆周速度(mm/s)

二、比磨层厚度的计算

【说明】在比磨碎时间内的喂料速度叫比磨层厚度。

【公式】 $d_s = V_H \frac{a}{V} \quad (\text{mm}) \quad (1-5-2)$

式中 d_s —— 比磨层厚度(mm)
 V_H —— 喂料速度(mm/s)
 a, V 同式 1-5-1

【例】生产用 10 号刻石刀,刻纹间距 $a = 2.54\text{mm}$,磨石圆周速度 $V = 20\text{m/s}$,喂料速度 $V_H = 50\text{mm/min}$,求比磨碎时间和比磨层厚度。

$$\begin{aligned} \text{解: } t_s &= \frac{a}{V} = \frac{2.54}{20 \times 1000} = 1.27 \times 10^{-4} (\text{s}) \\ d_s &= V_H t_s \\ &= \frac{50 \times 1000}{60} \times 1.27 \times 10^{-4} \\ &= 0.1 (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

第二节 磨木浆质量控制计算

一、磨木比压的计算

(一)机械加压磨木机的比压计算

【说明】一般大北式磨木机的磨木比压为 $(1.47 \sim 2.35) \times 10^5 \text{Pa}$;普通链式为 $(1.77 \sim 2.45) \times 10^5 \text{Pa}$;大型链式为 $(2.75 \sim 3.53) \times 10^5 \text{Pa}$;环式磨木机为 $2.26 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

1. 理论计算法

【公式】

$$Pe = \frac{Ne}{\mu e Fe V} \quad (1-5-3)$$

式中 Pe —— 磨木比压(Pa)

Ne —— 实际消耗于磨木的功率(W)

μe —— 磨木的摩擦系数,通常为 0.15~0.25

V —— 磨石线速度(m/s)

Fe —— 磨木机的有效磨木面积(m²)

$$Fe = \beta b l \quad (\text{m}^2) \quad (1-5-4)$$

β —— 磨石工作面的有效利用系数,取 0.75~0.95

b —— 磨木长度(m)

l —— 磨木弧长(m)

2. 经验计算法

【说明】磨木比压也可根据下述经验公式估算。

【公式】

$$Pe = (2452 \sim 3923) V_H \quad (1-5-5)$$

式中 Pe —— 磨木比压(Pa)

V_H —— 磨木进料速度(mm/min)

(二)水力加压磨木机的比压计算

【公式】

$$Pe = \frac{P \pi d_0^2 \beta_1}{4 F_e} \quad (1-5-6)$$

式中 Pe —— 磨木比压(Pa)

P —— 磨木机水压缸的压力(Pa)

d_0 —— 水压缸的活塞直径(m)

β_1 —— 由于摩擦产生的压力损失系数,一般等于 0.75

F_e —— 同式 1-5-3

二、磨浆变数对磨木浆质量的影响计算

【说明】磨浆变数主要指磨石的锐度、输入功率和磨石的线速度等对磨木浆质量的影响,根据伯格斯托姆(Bergstrom)等人的研究,可用以下几种式子表达。

(一)磨浆产量的变化计算

【公式】

$$G = \frac{KN}{V} \quad (1-5-7)$$

式中 G —— 产量

K —— 磨石表面状态的因子

N —— 功率消耗

V —— 磨石的圆周速度

(二)磨浆质量的变化计算

【说明】浆的质量主要指游离度、湿强度、裂断长和透气度等。

【公式】

$$Q_i = mK^{a_i} \left(\frac{N}{V} \right)^{b_i} V^{c_i} \quad (1-5-8)$$

式中 Q_i ——测定的某质量指标

N/V ——和磨木压力成比例的因子

m ——常数

a_i, b_i, c_i ——指数, 其值见表 1-5-1

其它同式 1-5-7

表 1-5-1

磨浆变数对纸浆质量的影响

质 量 项 目	指数 a_i	指数 b_i	指数 c_i
加拿大标准游离度	+2.8	+1.5	+1.1
湿强度	-1.4	-1.0	-1.1
裂断长	-1.3	-1.5	-0.5
透气度	-1.1	-1.1	-0.3

(三) 游离度的变化计算

【公式】游离度 = $mG^{2.8}$ (1-5-9)

式中符号含义同式 1-5-7 及式 1-5-8

(四) 输入功率的变化计算

【说明】在固定的磨石线速下, 为了维持原有的游离度, 显然要求增加输入功率, 而输入功率的变化必须满足式 1-5-10。

【公式】

$$N = \frac{m}{K^{1.9}} \quad (1-5-10)$$

$$\text{或 } K^{2.8} N^{1.5} = \text{常数} \quad (1-5-11)$$

式中符号含义同上

【注意】上式意味着随着磨石的变钝, 为保持稳定的游离度, 输入功率必须显著地增加。在一个刻石周期内, 如果磨石的钝度容许降低 20%, 则输入功率将提高近 40%

(五) 磨浆质量随磨石线速的变化计算

【说明】当磨石表面状态和输入功率固定时, 纸浆质量随磨石线速的变化可用下式表示。

【公式】

$$Q_i = mV^{c_i - b_i} \quad (1-5-12)$$

式中符号含义同上

1. 裂断长随磨石线速的变化计算

【公式】裂断长 = $mV^{-0.5 - (-1.5)} = mV$ (1-5-13)

式中符号含义同上

2. 游离度随磨石线速的变化计算

【公式】 游离度 = $mV^{1.1-1.5} = mV^{0.4}$

(1-5-14)

式中符号含义同上

【注意】上式说明游离度随磨石线速的增加而降低。

第三节 磨木机的计算

一、磨木机的生产能力计算

【说明】磨木机的生产能力理论上应由磨木进料速度、磨浆面积等决定,但实际生产中,由于装料的紧密度及加压机构与原木间的摩擦,实际的进料速度比进料机构速度低,故磨木机的实际生产能力比理论生产能力要小。

【公式】

$$G_{理} = \frac{1440K_1SF}{1000K_2} \quad (1-5-15)$$

式中 $G_{理}$ ——理论生产能力(t 风干浆/d)

S ——磨木进料速度(mm/min)

F ——有效磨浆面积(m^2)

K_1 ——装箱中木材的实际系数,可取 0.75

K_2 ——生产 1t 风干浆所需实际原木量(m^3)

二、磨木机磨石的刻石计算

(一)刻石行刀速度的计算

【说明】磨石应按照要求的下刀与行刀的速度和刻石深度严格进行刻石。一般下刀速度应以较慢为原则(约 2~3s),借以刀刀落槽,免于铲平磨纹。行刀速度应当是磨石每转一周,刻石刀前进一个刀距。行车速度太快,容易造成漏刻;如果太慢,刻纹容易错乱不齐,造成重刻。行刀速度一般可按式 1-5-17 计算。

【公式】

$$V = \frac{bn}{60} \quad (1-5-16)$$

式中, V ——行刀速度(mm/s)

b ——刻石刀宽度(mm)

n ——磨石转速(r/min)

(二)刻石所需时间的计算

【说明】实际上刻石时间均较计算数值多 0.5~1.0s。

【公式】

$$t = \frac{60B}{bn} \quad (1-5-17)$$

式中 t ——刻石时间(s)

B ——磨石宽度(mm)

其它同上。

三、磨木机所需电机功率的计算

(一)磨木机的有效功率计算

【说明】磨木机的有效功率与磨木比压、有效磨浆面积和磨石的圆周速度成正比。

【公式】

$$P_1 = \frac{\mu P \zeta L D^2 \pi n \arcsin \frac{B}{D}}{60 \times 1000} \quad (1-5-18)$$

式中 P_1 ——有效功率(kW)

μ ——原木与磨石的摩擦系数,一般为 0.15~0.2

ζ ——磨石工作表面有效利用系数,一般为 0.75~0.95

L ——装入磨木机内原木的长度(m)

D ——磨石的直径(m)

B ——料箱的宽度(m)

n ——磨石的转速(r/min)

p ——磨木比压(Pa),可用经验公式 1-5-5 求算;也可按经验选取

(二)磨木机的无效功率计算

【说明】磨木机的无效功率是由磨木机的轴承构造、磨石圆周速度、浆坑中浆的浓度及磨石浸入浆坑中的深度等决定的,通常无效功率为总功率的 10%。

【公式】

$$P_2 = 0.1 P_T \quad (1-5-19)$$

式中 P_2 ——无效功率(kW)

P_T ——磨木机电机的总功率(kW)

(三)磨木机所需电机总功率的计算

【说明】磨木机电机的总功率等于有效功率和无效功率之和

【公式】

$$P_T = P_1 + P_2 = \frac{P_1}{0.9} \quad (1-5-20)$$

式中符号含义及单位同上

(四)磨木机应配置电机的实际功率计算

【公式】

$$P = \frac{\alpha P_1}{0.9\eta} \quad (1-5-21)$$

式中 α ——储备系数,一般取 1.2

η ——传动效率,可取 0.94

P ——电机实际功率(kW)

P_1 ——同上

第六章 废液的提取及纸浆洗涤 过程的工艺与设备计算

第一节 废液的提取工艺计算

一、废液提取率的计算

【说明】 废液提取率可从不同的角度用不同的方法来表示,表示的方法不同,其计算方法也不同。

(一)简单计算法

【说明】 此法因生产中波美度易测定,而且测定次数多,因此,比较准确。

【公式】

$$K = \frac{G_1}{G} \times 100\% \quad (1-6-1)$$

式中 K —— 废液提取率(%)

G_1 —— 本期送碱回收车间黑液中的碱量(kg/t 风干浆)

G —— 本期蒸煮用碱量(kg/t 风干浆)

(二)一般计算法

【说明】 洗涤过程所提取送回收系统的废液中固形物的量,与蒸煮后废液中固形物含量之比,实际上是洗涤效率减去跑、冒、滴、漏等各种损失。这是评定洗涤过程中设备运行和管理水平的指标。

【公式】

$$K = \frac{G_1}{100 \times \frac{1-m}{m} + G_2} \times 100\% \quad (1-6-2)$$

式中 K —— 提取率(%)

G_1 —— 每吨绝干粗浆洗出液中固形物含量(kg)

m —— 粗浆得率(%)

G_2 —— 每吨绝干粗浆用药液量(kg)

(三)近似计算法

【说明】 采用挤压法提取废液的工厂常以浓度法作近似计算。这样测定较快,计算较方便。

【公式】

$$K = \frac{C_2 - C_1}{C_2(1 - C_1)} \times 100\% \quad (1-6-3)$$

式中 K —— 废液提取率(%)

C_1 —— 废液在提取设备进口浓度(%)

C_2 —— 废液在提取设备出口浓度(%)

【注意】 上式中的浓度测定时,应为经过洗净之后的浆料浓度。若未经洗净即烘干恒重,常因黑液固形物高,导致结果不准确,使提取率偏高。

(四)测定蒸煮和洗涤损失算法

【说明】 这种测定需要每锅(球)分开,工作量较大,而且不能经常测定。但是可以知道在洗涤工段中的跑、冒、滴、漏及浆料中带走的蒸煮废液损失。

【公式】

$$K = \frac{Q - Q_1}{Q} \times 100\% \quad (1-6-4)$$

式中 Q —— 本期蒸煮用药液量[kg/锅(球)]

Q_1 —— 本期蒸煮和洗涤损失[kg/锅(球)]

二、螺旋挤浆机的计算

(一)生产能力的计算

【公式】
$$Q = 60\pi d A \frac{1}{\cos\Phi} n \gamma \beta c \quad (1-6-5)$$

式中 Q —— 生产能力(kg/h)

d —— 螺旋的平均直径(m)

$$d = \frac{d_{\text{内}} + d_{\text{外}}}{2}$$

$d_{\text{内}}、d_{\text{外}}$ —— 螺旋的内径和外径(m)

A —— 加料口螺旋的截面积(m²)

Φ —— 螺旋平均直径上的导角

n —— 螺旋转数(r/min)

c —— 进浆浓度(%)

β —— 螺旋槽上浆料的填满系数,一般取0.4~0.6

γ —— 绝干浆密度(kg/m³)

(二)洗涤效率及稀释因子的计算及实例

【说明】 黑液利用度即为洗涤效率,表示洗涤过程废液中固形物重量的相对百分率。

稀释因子指每吨风干浆洗涤用水量与洗后纸浆含水量之差。

【公式】

$$\eta = \frac{100G}{G_0} \quad (1-6-6)$$

$$D = L - V \quad (1-6-7)$$

式中 η —— 洗涤效率(%)

$G_0、G$ —— 分别为洗涤前后废液含固形物的重量(kg)

D —— 稀释因子

L —— 每吨风干浆洗涤用水量(kg)

V —— 洗后纸浆含水量(kg)

【例】 某亚铵法蔗渣浆厂,日产15t粗浆,用三段螺旋挤浆机提取黑液,其工艺流程

见图1-6-1,计算其黑液利用度及稀释因子。

已知条件:

每球装绝干蔗渣(t):1.00

蒸煮粗浆得率(%):60

每天蒸煮球数(个):9

原浆浓度 A (%):14.1

原黑液相对密度(20℃):1.052

波美度(20℃)(°Bé):7.0

固形物含量(%):13.29

第一台螺旋挤浆机进浆浓度 X (%):8.26

出浆浓度 D (%):33.0

黑液中固形物(%):8.75

第二台螺旋挤浆机进浆浓度 B (%):12

出浆浓度 C (%):30

稀黑液含固形物(%):3.2

第三台螺旋挤浆机进浆浓度 Y (%):12

出浆浓度 E (%):33

稀黑液含固形物:1.02

挤出黑液相对密度(20℃):1.037

波美度(20℃)(°Bé):5.0

含固形物(%):8.75

解:①物料平衡计算

每天绝干粗浆产量:

$$1.00 \times \frac{60}{100} \times 9 = 5.4 (\text{t/d})$$

每吨绝干浆含原黑液:

$$1.00 \times \frac{100 - A}{A} = 1.00 \times \frac{100 - 14.1}{14.1} = 6.1 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第一台进浆含浓黑液:

$$1.00 \times \frac{100 - X}{X} = 1.00 \times \frac{100 - 8.26}{8.26} = 11.10 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第一台出浆带走黑液:

$$1.00 \times \frac{100 - D}{D} = 1.00 \times \frac{100 - 33}{33} = 2.03 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第一台挤出浓黑液:

$$11.10 - 2.03 = 9.07 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第一台需回用第二台挤出的稀黑液量:

$$11.10 - 6.10 = 5.0 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第二台进浆含黑液:

$$1.00 \times \frac{100 - B}{B} = 1.00 \times \frac{100 - 12}{12} = 7.33 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第二台出浆带走黑液:

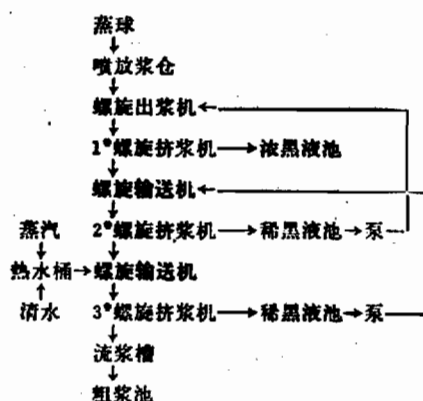


图1-6-1 螺旋挤浆机提取黑液流程图

$$1.00 \times \frac{100 - C}{C} = 1.00 \times \frac{100 - 30}{30} = 2.33 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第二台挤出稀黑液:

$$7.33 - 2.03 = 5.30 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第三台进浆含黑液:

$$1.00 \times \frac{100 - Y}{Y} = 1.00 \times \frac{100 - 12}{12} = 7.33 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第三台出浆带走黑液 V_1

$$V_1 = 1.00 \times \frac{100 - E}{E} = 1.00 \times \frac{100 - 33}{33} = 2.03 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第三台挤出稀黑液:

$$7.33 - 2.03 = 5.30 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第三台进浆稀释洗涤用热水 L

$$L = 7.33 - 2.33 = 5.00 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

每天耗用清水量:

$$5.0 \times 5.4 = 27 (\text{t/d})$$

第一台进浆黑液中总固形物:

$$11.00 \times 8.75\% = 0.977 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第一台出浆带走黑液总固形物:

$$2.03 \times 8.75\% = 0.181 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第一台挤出浓黑液总固形物 G

$$G = 9.07 \times 8.75\% = 0.79 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

原黑液中总固形物 G_0

$$G_0 = 6.10 \times 13.29\% = 0.811 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第一台回用稀黑液与第二台挤出稀黑液量相等,即:

$$0.971 - 0.811 = 0.160 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

回用稀黑液含固形物:

$$0.160 \times \frac{1}{5.0} \times 100\% = 3.2\%$$

第二台进浆黑液中总固形物:

$$7.33 \times 3.2\% = 0.235 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第二台出浆带走黑液中总固形物:

$$2.33 \times 3.2\% = 0.075 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第二台回用稀黑液与第三台挤出黑液量相等,即:

$$0.235 - 0.181 = 0.054 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第二台回用稀黑液含固形物:

$$0.054 \times \frac{1}{5.3} \times 100\% = 1.02\%$$

第三台进浆黑液中总固形物:

$$7.33 \times 1.09\% = 0.075 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

第三台出浆带走黑液总固形物 V_2

$$V_2 = 2.03 \times 1.02\% = 0.021 (\text{t/t 绝干粗浆})$$

②物料平衡表

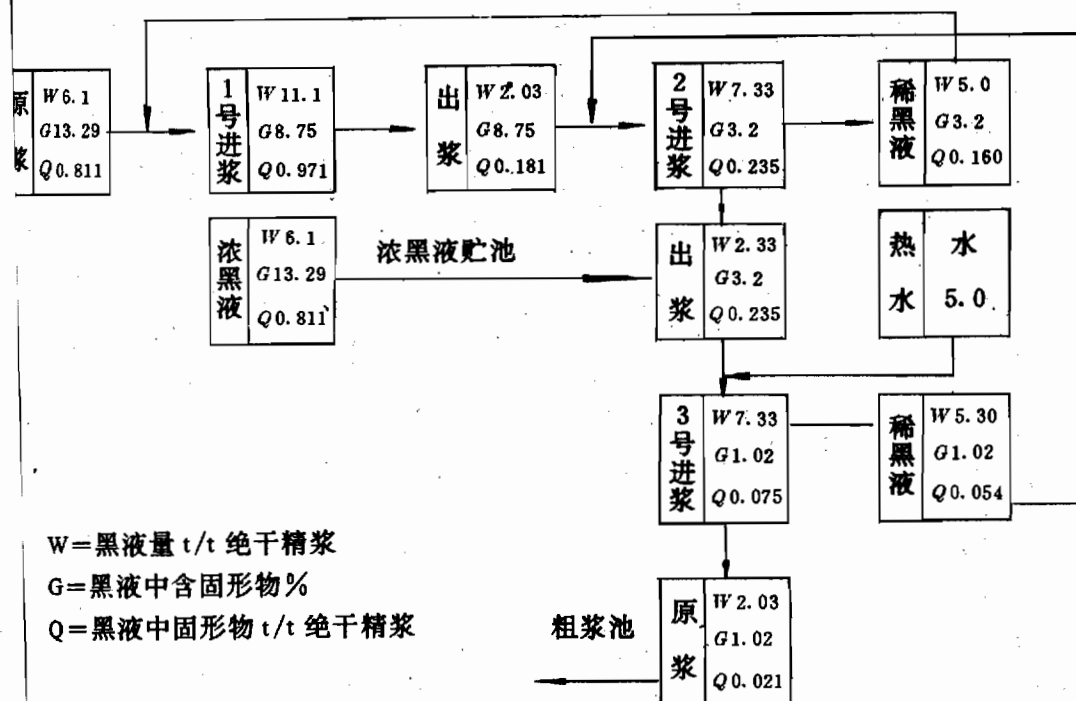
见表1-6-1。

③黑液利用度(洗涤效率) η :

$$\eta = \frac{G}{G_0} \times 100\% = \frac{0.79}{0.811} \times 100\% = 97.4\%$$

④稀释因子 D

表1-6-1 物料平衡表



$$\begin{aligned} D &= L - (V_1 - V_2) \\ &= 5.0 - (2.03 - 0.021) \\ &= 2.991 (\text{t/t 绝干粗浆}) \end{aligned}$$

第二节 纸浆洗涤的理论计算

一、稀释因子的计算

【说明】 稀释因子的定义为:洗涤每千克风干浆用的洗涤水中,进入所提取的黑液中的那部分水量(kg),叫稀释因子或稀释度。可用它表示提取黑液的稀释程度。稀释因子大,说明洗涤水用量多,送回收车间的黑液浓度稀,但纸浆洗得干净,黑液的提取率高,一

般稀释因子为1~3。

(一)定义式

参见式1-6-7。

(二)理论计算式

【公式】
$$D_f = \frac{L_w - L_E(1 - S_E)}{1000} \quad (1-6-8)$$

式中 D_f —— 稀释因子(kg 水/kg 风干浆)

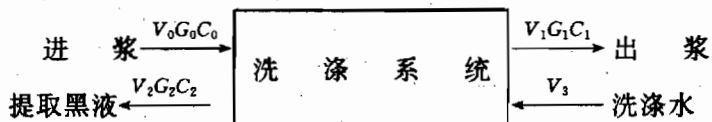
L_w —— 进入洗涤系统的最后一段洗涤水量(kg/t 风干浆)

L_E —— 离开最后一段浆层中的液体量(kg/t 风干浆)

S_E —— 离开最后一段浆层所含液体中的固形物浓度(%)

(三)近似计算式

【说明】 近似计算式可由洗涤系统的物料平衡图加以分析。



图中 V_2, V_3 —— 分别为提取的黑液量和洗涤水量(t 液体/t 风干浆)

V_0, V_1 —— 分别为进浆和出浆的液体量(t 液体/t 风干浆)

C_0, C_1, C_2 —— 分别为进浆、出浆及提取黑液的浓度(t 固形物/t 液体)或重量百分率(%)

G_0, G_1, G_2 —— 分别为进浆、出浆及提取黑液的总固形物含量(t 固形物/t 风干浆)

【公式】

$$D_f = V_2 - V_0 + G_1 \quad (1-6-9)$$

式中 D_f —— 稀释因子(t 水/t 风干浆)

其它同上

【讨论】 式1-6-9中 D_f 的数量级为吨,总固形物损失 G_1 的数量级为0.01t,甚至达0.001t,相比之下, G_1 可以忽略不计,因此,稀释因子则近似地表示为

$$D_f = V_2 - V_0 = V_3 - V_1 \quad (1-6-10)$$

式中符号含义及单位同上

二、扩散速度的计算

【说明】 存在于纤维细胞壁内的废液,可以用稀释的方法,造成纤维内外溶液的浓度差,使纤维内溶解物质扩散出来,然后压滤浓缩即可分离。溶解物扩散的速度,可用式1-6-11计算。

【公式】
$$G = DF \frac{C_1 - C_2}{x} \quad (1-6-11)$$

式中 G —— 扩散速度(kg/h)

F —— 扩散面积(m^2)

D —— 扩散系数(m^2/h),见表1-6-2

C_1 —— 纤维内废液的浓度(kg/m^3)

C_2 —— 纤维外废液的浓度(kg/m^3)

x —— 扩散物所经过的路程(m)

三、洗涤效率的计算

【说明】 纸浆通过洗涤系统后提取的固形物占洗前总固形物的百分比称洗涤效率。

表1-6-2 硫酸盐浆黑液和亚硫酸盐浆红液的扩散系数

浆种	黑液类型	黑液密度	固形物浓度	扩散介质	试验时间	试验平均温度	扩散系数 $D \cdot 10^{-5} (\text{cm}^2/\text{s})$	
		(g/cm^3)	(%)		(d)	($^{\circ}\text{C}$)	试验温度	20 $^{\circ}\text{C}$
硫酸盐浆黑液	蒸煮后	1.1395(15 $^{\circ}\text{C}$)	23.2	水	3.9	29	0.82	0.67
	蒸煮后	1.1370(15 $^{\circ}\text{C}$)	23.2	水	2.5	27	0.84	0.71
	蒸煮后	1.1425(15 $^{\circ}\text{C}$)	24.2	水	3.0	24.5	0.83	0.74
	蒸煮后	1.2103(15 $^{\circ}\text{C}$)	38.4	水	10.3	24.5	0.58	0.52
	稀黑液	1.0067(24 $^{\circ}\text{C}$)	/	水	3.5	23.0	0.90	0.83
	蒸煮后	1.1425(15 $^{\circ}\text{C}$)	24.2	稀黑液	6.9	23.5	0.65	0.60
亚硫酸盐浆红液	蒸煮后	1.1414(16 $^{\circ}\text{C}$)	30.5	水	3.2	22.0	0.38	0.36
	稀红液	1.0096(29 $^{\circ}\text{C}$)	3.0	水	4.9	26.5	0.57	0.49
	蒸煮后	1.1414(16 $^{\circ}\text{C}$)	30.5	稀红液	5.4	31.0	0.32	0.25

($1\text{cm}^2/\text{s} = 0.36\text{m}^2/\text{h}$)

【公式】

$$\eta = \frac{C_0 L_0 - C_1 L_1}{C_0 L_0} \times 100\% \quad (1-6-12)$$

$$\text{或 } \eta = \frac{G_0 - G}{G_0} \times 100\% \quad (1-6-13)$$

式中 C_0 —— 洗前纸浆中黑液所含溶质(残碱)浓度(g/L)
 C_1 —— 洗后纸浆中液体所含溶质(残碱)浓度(g/L)
 L_0 —— 洗前单位绝干浆所含水分(%)
 L_1 —— 洗后单位绝干浆所含水分(%)
 G_0 —— 洗前浆中含固形物绝干重量(kg)
 G —— 洗后浆中含固形物绝干重量(kg)

四、洗涤纤维流失率的计算

【公式】 $K = \frac{G_1}{G} \quad (1-6-14)$

式中 K —— 洗涤纤维流失率(%)
 G_1 —— 洗涤纤维流失量(kg)(绝干)
 G —— 洗涤的粗浆量(kg)(绝干)

五、吸附作用的计算

【说明】 不同的阳离子与纤维素纤维之间有不同的亲和力,其规律为:

$\text{H}^+ > \text{Zn}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cs}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{木素}$

研究表明,浆对木素的吸附作用比钠离子小得多,故纤维内的木素比钠容易洗出来。

(一) 浆对钠离子平衡状态的吸附量(等温式)

【公式】
$$S = \frac{aCe}{1 + bCe} \quad (1-6-15)$$

式中 S ——平衡状态的吸附量(kg 钠/t 绝干浆)

a ——吸附常数(m^3/t 绝干浆)

b ——吸附常数(m^3/t 绝干浆)

Ce ——平衡浓度(kg 钠/ m^3)

【附表】 几种硫酸盐浆对钠的吸附量见表1-6-3;硫酸盐稻草浆吸附量与浆中液体浓度的关系见表1-6-4。

表1-6-3

几种硫酸盐浆对钠的吸附量

浆 种	浆的硬度 (卡伯值)	浆中液体浓度 Ce (kg 钠/ m^3)	对钠的吸附量 S (kg 钠/t 绝干浆)
稻草浆	20.2	0.333	6.80
高粱秆浆	20.8	0.317	4.47
		0.115	3.01
		0.159	2.92
苇 浆	18.3	0.25	3.43
		0.197	3.11
		0.138	3.01
		0.162	2.40
		0.112	1.20
		0.08	1.20
白松浆	26.9	0.36	4.70

表1-6-4

硫酸盐稻草浆(卡伯值15)吸附量与浆中液体浓度的关系

浆中液体浓度 Ce (kg 钠/ m^3)	0.036	0.057	0.121	0.228	0.316	0.455	0.523	0.647	1.035	1.16	1.540
对钠的吸附量 S (kg 钠/t 绝干浆)	1.782	2.372	2.864	4.146	4.082	4.049	5.183	6.025	5.118	5.539	7.451

(二) 浆对钠离子吸附曲线的斜率

【公式】
$$K_s = \frac{d_s}{d_{Ce}} = \frac{a}{(1 + bCe)^2} \quad (1-6-16)$$

式中 K_s ——曲线的斜率(m^3/t 绝干浆)

其它同上

六、纸浆洗净度的有关计算

(一) 洗净度的计算

【说明】 洗净度表示纸浆洗净的程度。其表示方法有三种:①以洗涤后随纸浆所带走的清液中的残碱含量(Na_2Og/L)表示;②以洗后每吨风干浆所带走的残碱量(Na_2O kg/t 浆)表示;③以洗后纸浆消耗 $KMnO_4$ 的量表示(用于酸法制浆)。

(二) 由纸浆浓度计算残液量

【公式】

$$V = \frac{0.9(1-C)}{C} \quad (1-6-17)$$

式中 V —— 每吨风干浆带走的残液量(m^3/t 风干浆)

C —— 洗后纸浆浓度(%)

【例1】 某厂洗后纸浆浓度为12%，求每吨风干浆带走的残液量。

$$\begin{aligned} \text{解: } V &= \frac{0.9(1-C)}{C} = \frac{0.9(1-12\%)}{12\%} \\ &= 6.6(\text{m}^3/\text{t} \text{ 风干浆}) \end{aligned}$$

(三)残碱浓度的计算

【公式】

$$L = \frac{G}{V} \quad (1-6-18)$$

式中 L —— 洗后浆所带走的残碱浓度(g/L)

G —— 每吨风干浆带走残碱量(kg/t 风干浆)

V —— 每吨风干浆带走的残液量(m^3/t 风干浆)

【例2】 在例1中，每吨风干浆带走残碱为1kg/t 风干浆，计算残碱浓度。

$$\text{解: } L = \frac{G}{V} = \frac{1}{6.6} = 0.15(\text{g/L})$$

(四)碱法浆残碱洗净度的表示方法及相互间的换算

【说明】 碱法浆洗净度的表示方法有两种。

1. 以洗后每吨风干浆中所含残碱量表示

【公式】

$$P_1 = \frac{W_1}{G} \quad (1-6-19)$$

式中 P_1 —— 洗净度 [$\text{kg}(\text{Na}_2\text{O})/\text{t}$ 风干浆]，对木浆一般要求洗净度为1左右

W_1 —— 残碱含量(kg)

G —— 洗后风干浆量(t)

2. 以洗后纸浆所带残液中的残碱含量表示

【公式】

$$P_2 = \frac{W_2}{Q} \quad (1-6-20)$$

式中 P_2 —— 洗净度 [$\text{g}(\text{Na}_2\text{O})/\text{L}$]

W_2 —— 每吨风干浆中的残碱含量(g)

Q —— 每吨风干浆所带废液量(l/t 风干浆)

3. P_1 、 P_2 间的相互换算

【公式】

$$P_2 = \frac{1000P_1}{Q} \quad (1-6-21)$$

式中符号含义及单位同上

【例3】 某厂洗后纸浆浓度为12%，每吨风干浆带走残碱为1kg/t 风干浆，求纸浆所带废液中的残碱含量？

$$\text{解: } Q = \frac{0.9(1-12\%)}{12\%} = 6.6(\text{m}^3/\text{t} \text{ 风干浆})$$

=6600(l/t 风干浆)

$$P_2 = \frac{1000P_1}{Q} = \frac{1000 \times 1}{6600} = 0.15 \quad (\text{g/t})$$

七. 置换比的计算

【说明】 置换比指在洗涤过程中, 纸浆中含溶解的固形物的实际减少量, 与理论上可能的最大减少量之比, 其值取决于稀释因子的大小。

【公式】

$$\text{置换比} = \frac{S_v - S}{S_v - S_c} \quad (1-6-22)$$

式中 S_v —— 进洗浆机网槽时废液含溶解的固形物的浓度(%)

S —— 洗后浆料中所带走的废液含溶解固形物的浓度(%)

S_c —— 洗浆机喷淋液中含溶解固形物的浓度(%) (喷淋清水时, $S_c = 0$)

八、纸浆相对浓度的计算

【说明】 表示洗涤过程中废液中固形物浓度的变化率。

【公式】

$$f = \frac{C}{C_0} \quad (1-6-23)$$

式中 C_0, C —— 分别为洗涤前后浆料中废液浓度(%)

九、纸浆相对体积的计算

【说明】 相对体积表示洗涤过程中废液体积的变化率。

【公式】

$$m = \frac{V}{V_0} \quad (1-6-24)$$

式中 V_0, V —— 分别为洗涤前后废液的体积(m^3)

m —— 相对体积

十、洗涤效果的相互换算

【公式】

$$G_0 = C_0 V_0 \quad (1-6-25)$$

$$G = CV \quad (1-6-26)$$

$$\eta = mf \quad (1-6-27)$$

式中 G_0, G —— 分别为洗涤前后废液含固形物的重量(kg)

C_0, C —— 分别为洗涤前后的浆料中废液浓度(%)

V_0, V —— 分别为洗涤前后废液的体积(m^3)

η —— 洗涤效率(%)

m, f —— 分别为纸浆相对体积和相对浓度

第三节 纸浆的过滤工艺计算

一、纸浆悬浮液的过滤速度计算

【公式】

$$v = \frac{\Delta P}{RLa} = \frac{\Delta P \eta d^2}{32 \mu L a} \quad (1-6-28)$$

式中 v —— 洗涤时的过滤速度 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

ΔP —— 过滤层的压力差 (Pa)

L —— 滤层厚度 (m)

R —— 过滤阻抗系数 [$(\text{kg} \cdot \text{s})/\text{m}^4$], 见式 1-6-30

μ —— 滤液的粘度 (Pa · s)

η —— 过滤面积的有效系数

$$\eta = RF$$

R —— 开孔率 (%)

d —— 滤层中孔道的平均直径 (m)

a —— 滤层中孔道的弯曲程度 (≥ 1)

二、过滤设备的生产能力计算

【说明】 下式一般不用于定量计算, 因式中的 n 、 γ 、 a 等很难确定。

【公式】

$$Q = FV = \frac{Fn\pi\gamma^4P}{8\mu aL} \quad (1-6-29)$$

式中 Q —— 生产能力 (m^3/s)

F —— 过滤面积 (m^2)

v —— 过滤速度 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

n —— 过滤面积上的毛细管数

L —— 滤层厚度 (m)

γ —— 毛细管半径 (m)

P —— 过滤时滤层两侧的压力差 (Pa)

a —— 毛细管的弯曲程度 ($a \geq 1$)

μ —— 滤液的粘度 (Pa · s)

三、过滤比阻(阻抗系数)的计算

【说明】 对于一定的过滤设备和一定的操作条件, 过滤比阻是常数。从过滤比阻的变化可以分析判断出洗涤的难易程度。

【公式】

$$R = \frac{32\mu}{\eta \cdot d^2} \quad (1-6-30)$$

$$\text{或 } R = A\Delta P^n \quad (1-6-31)$$

式中 R —— 过滤比阻 $[(\text{kg} \cdot \text{s})/\text{m}^4]$

A —— 常数

ΔP —— 压力差

n —— 压缩指数, 水和废液通过 8.5cm 厚的浆层时, 压力由 0.5~3kg/cm², 压缩指数的实验数据如表 1-6-5

表 1-6-5 水和废液通过浆层的压缩指数

浆 种	压缩指数		浆 种	压缩指数	
	水	浆		水	浆
硫酸盐硬浆	0	0.55	亚硫酸盐硬浆	0	0.37
硫酸盐软浆	0.18	0.50	亚硫酸盐软浆	0.36	0.55

注: 表中“0”即表示过滤阻力系数 R 与压力差无关

四、毛细管内液柱高度的计算

【公式】

$$H = \frac{4\sigma}{\gamma d} \quad (1-6-32)$$

$$\text{或 } P = \frac{4\sigma}{d} = H\gamma \quad (1-6-33)$$

式中 H —— 毛细管内液柱高度(m)

σ —— 黑液的表面张力(N/m)

γ —— 黑液的重度(N/m³)

d —— 毛细管直径(m)

P —— 毛细管内液柱压力(Pa)

【例】以麦草浆为例, 15℃时, 29.5°Bé 黑液的表面张力为 $386.5 \times 10^{-4} \text{N/m}$, 毛细管直径为 $1\mu\text{m}$, 求毛细管内压力为多少时, 可将蒸煮废液挤压出来。

$$\text{解: } P = \frac{4\sigma}{d} = \frac{4 \times 386.5 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-6}} = 154600 (\text{Pa}) = 154.6 (\text{kPa})$$

第四节 洗涤池的工艺计算

一、洗涤池面积的计算

【公式】

$$A = \frac{GK}{\rho d} \quad (1-6-34)$$

式中 A —— 洗涤池面积(m²/球浆)

G —— 每球装绝干原料量(kg/球)

K —— 粗浆得率(%)

ρ —— 滤后浆层容重(kg/m³)

d —— 浆层厚度(m)

【例】 设25m³蒸球装球量为3500kg 绝干麦草,粗浆收获率为44%,如果选择浆层厚度为0.8m,滤后浆层容重为50kg/m³,求所需洗涤池面积。

$$\begin{aligned}\text{解: } A &= \frac{GK}{\rho d} \\ &= \frac{3500 \times 44\%}{50 \times 0.8} \\ &= 38.5 (\text{m}^2)\end{aligned}$$

二、洗涤池洗净程度的计算

【说明】 循环式洗浆池的洗净程度可用下式计算。

【公式】

$$x = x_0 e^{-\frac{Q}{V}} \quad (1-6-35)$$

式中 x —— 洗后浆池中含残碱或固形物浓度(kg/t 液体)
 x_0 —— 洗前浆池中含残碱或固形物浓度(kg/t 液体)
 Q —— 每小时加入或排出的水量(t/h)
 t —— 洗涤时间(h)
 V —— 浆池中纸浆所含的液体量(t)
 e —— 自然对数值

三、不同洗涤方式用水量及洗涤时间的计算与比较

【说明】 对于循环式洗浆池,所采取的洗涤方式不同,其效益和时间是不同的,下面按不同的方式进行计算及比较。

(一)积分洗涤法的计算

【说明】 浆量一定,在运行中进入清水量(单位时间内)等于滤液抽出量,保持浆位平稳。定时抽检残碱含量(符合工艺要求时为止),可用积分法进行洗涤用水量和洗涤时间的计算,故称积分洗涤法。

【公式】

$$dg = -W \frac{g}{V} dt \quad (1-6-36)$$

$$\frac{dg}{g} = -\frac{W}{V} dt$$

$$\int_{g_0}^{g_1} \frac{dg}{g} = -\int_0^t \frac{W}{V} dt \quad (1-6-37)$$

$$G = W \cdot t \quad (1-6-38)$$

式中 dg —— 残碱增量
 $dg = \text{加入量} - \text{排出量} = -\text{排出量}$
 (因为加入为清水)
 W —— 滤液体积流量(m³/min)

g —— 浆料中残碱(NaOH)重量(kg)

V —— 浆料体积(m^3)

t —— 洗涤时间(min)

G —— 用水量(m^3)

【例1】 已知某洗浆机的浆料体积 $V = 10\text{m}^3$, 残碱重量(NaOH) $g_0 = 4\text{kg}$ ($\text{pH} = 12$)。过滤流量 $W = 0.06\text{m}^3/\text{min}$, 终点残碱 $g = 0.04\text{kg}$, 求洗涤时间和用水量。

解:

$$\int_{g_0}^g \frac{dg}{g} = - \int_0^t \frac{W}{V} dt$$

$$\int_4^{0.04} \frac{dg}{g} = - \int_0^t \frac{0.06}{10} dt$$

$$t = \frac{\ln \frac{0.04}{4}}{-0.006} = 760(\text{min})$$

$$\begin{aligned} \text{用水量 } G &= Wt = 0.06 \times 760 \\ &= 46(\text{m}^3) \end{aligned}$$

(二)降浓积分洗涤法

【说明】 洗涤开动搅拌后,暂不进清水,先抽出 3.5m^3 黑液,然后才边进清水边抽滤液。因黑液浓度降低,故称降浓积分洗涤法。

【公式】 同式1-3-36、1-6-37和1-6-38。

【例2】 在例1中 10m^3 的浆,开动搅拌后,先抽出 3.5m^3 黑液,其它条件均不变,求洗涤时间和用水量。

解: $g_0 = 4 - 4 \times \frac{3.5}{10} = 2.6(\text{kg})$

$$\int_{g_0}^g \frac{dg}{g} = - \int_0^t \frac{W}{V} dt$$

$$\int_{2.6}^{0.04} \frac{dg}{g} = - \int_0^t 0.006 dt$$

$$t = \frac{\ln \frac{0.04}{2.6}}{-0.006} = 695(\text{min})$$

$$G = Wt = 0.06 \times 695 = 41.7(\text{m}^3)$$

【讨论】 显然,这种方法比第一种方法缩短了一个小时,节约水 4m^3 。

(三)级数洗涤法

【说明】 该法采取稀释、浓缩交替进行的方法洗涤浆料。随着稀释、浓缩周期的增加,浆料中的残碱浓度递减、形成收敛级数关系,故称级数洗涤法。

【公式】

$$x_n = \left(\frac{a}{a+b} \right)^n x_0 \quad (1-6-39)$$

式中 x_n —— 经 n 次稀释后终点残碱的浓度 (kg/m^3 或 g/L)

x_0 —— 稀释前残碱浓度 (kg/m^3 或 g/L)

n —— 稀释次数

a —— 每次浓缩后浆料体积量 (m^3)

b —— 每次稀释时稀释水加入量 (m^3)

【例3】 某浆池中浆料体积为 10m^3 , 残碱总量为 4kg , 终点残碱量 0.04kg , 采取级数洗涤法洗涤。其浓缩时抽滤黑液量为 3.5m^3 , 稀释时浆池液位至 12m^3 , 试计算洗涤的次数及用水量。

解: 稀释前浆中残碱量 $g = 4 - 4 \times \frac{3.5}{10} = 2.6 (\text{kg})$

稀释前浆中残碱浓度 $x_0 = \frac{g_0}{10 - 3.5} = \frac{2.6}{6.5} = 0.4 (\text{kg}/\text{m}^3)$

终点时残碱的浓度 $x_n = \frac{g_t}{10 - 3.5} = \frac{0.04}{6.5} = 0.006 (\text{kg}/\text{m}^3)$

浓缩后浆料体积量 $a = 10 - 3.5 = 6.5 (\text{m}^3)$

稀释时稀释水加入量 $b = 12 - 6.5 = 5.5 (\text{m}^3)$

$$x_n = \left(\frac{a}{a+b} \right)^n x_0$$

$$0.006 = \left(\frac{6.5}{6.5+5.5} \right)^n \times 0.4$$

$$0.54^n = \frac{0.006}{0.4} = 0.015$$

$$n = \frac{\ln 0.015}{\ln 0.54} = 7 (\text{次})$$

$$\text{用水量} = 5.5 \times 7 = 38.5 (\text{m}^3)$$

【讨论】 通过计算比较, 级数洗涤法最节省, 且由于大稀释引起残碱的大浓度差, 有利于其向外扩散。为此比较优越。只是操作稍微麻烦一些, 另外, 加水时应在搅拌器之前洗浆后加入, 效果会更好。

第五节 真空洗浆机的工艺计算

一、真空洗浆机的生产能力计算

【公式】

$$Q = 60Snhc \quad (1-6-40)$$

式中 Q —— 洗浆机能力 (t/h)

S —— 滤网有效面积 (上浆部分) (m^2)

n —— 滤鼓转速 (r/min)

h —— 浆层厚度 (m)

c —— 浆料浓度 (%)

【附表】 真空洗浆机的单位负荷 (生产能力) 见表 1-6-6。

表1-6-6

真空洗浆机的单位负荷

浆料种类	洗浆机能力[t风干浆/(m ² ·d)]
松木硫酸盐浆	6.5~7.5
阔叶树硫酸盐浆	5.0~6.0
针叶树亚硫酸盐浆	5.0~7.0
阔叶树亚硫酸盐浆	4.5~6.0
阔叶树碱法木浆	4.0~4.5
磨木浆	2.0~3.0

注:上表条件:进浆浓度1~1.5%,出洗浆机浓度10~12%。真空水腿管应有10m以上,管内滤液流速2.4~3.6m/s。

二、真空洗浆机水腿管径计算

【公式】

$$d = \sqrt{\frac{4V}{u\pi}} \quad (1-6-41)$$

式中 d ——水腿管径(m)

V ——黑液通过量(m³/s)

u ——水腿管内流速(m/s)

【例】某真空洗浆机水腿黑液通过量为70m³/h,水腿管内流速为1.5m/s,试确定水腿管径。

解:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{u\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times \frac{70}{3600}}{1.5 \times 3.14}} = 0.128(\text{m})$$

取 $\Phi 130 \sim 150\text{mm}$ 的管径较为合适。

三、四段串联真空洗浆机的黑液平衡计算及实例

【例】已知条件:

从蒸煮锅随浆料来的黑液量 V_0 (m³/t 风干浆):6.6

进入黑液固形物含量 G_0 (kg/t 风干浆):1750

喷放锅下部浆料浓度 C' (%):3

进洗浆机浆料浓度 $C'_{\text{进}}$ (%):1.25

出洗浆机浆料浓度 $C'_{\text{出}}$ (%):14

洗涤热水用量 W (m³/t 风干浆):8

洗后浆料含水量 C'' (%):12

洗后浆料带走碱量 G_1 (kg 芒硝/t 风干浆):30

洗后浆料带走碱量 Na_2SO_4 含量 m (%):95%

洗后浆料黑液固形物中含 Na_2O 量 d (%):23

假设:

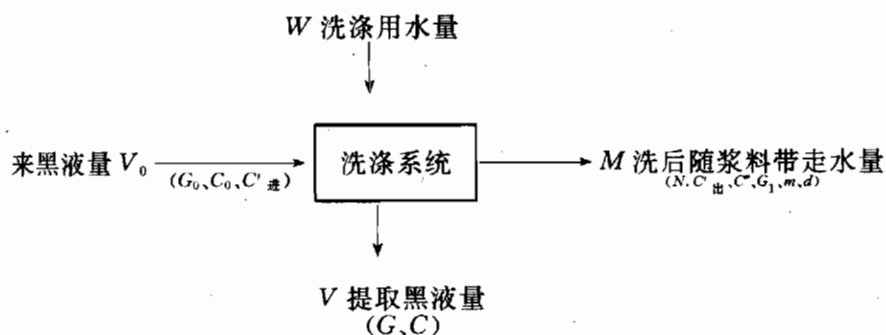
提取黑液量为 V (m³/t 风干浆)

随洗涤浆料带走的水量为 M (m³/t 风干浆)

提取黑液中的固形物量为 G (kg/t 风干浆)

洗后浆料带走的固形物为 N (kg/t 风干浆) 提取黑液浓度为 C (g/L)

平衡方框图如下:



解: ①提取黑液量 V 的计算

由于洗涤系统是封闭的, 没有物质排入地沟, 故总平衡方程为:

$$V_0 + W = V + M \quad (1-6-42)$$

$$\begin{aligned} \text{而 } M &= (1 - C'') \frac{1 - C'_{\text{出}}}{C'_{\text{出}}} \quad (1-6-43) \\ &= (1 - 12\%) \frac{1 - 14\%}{14\%} \\ &= 5.4 (\text{m}^3/\text{t 风干浆}) \end{aligned}$$

提取黑液量 V :

$$\begin{aligned} V &= V_0 + W - M \quad (1-6-44) \\ &= 6.6 + 8 - 5.4 \\ &= 9.2 (\text{m}^3/\text{t 风干浆}) \end{aligned}$$

②提取黑液中绝干固形物量 G 的计算

绝干固形物总平衡:

$$G_0 = G + N \quad (1-6-45)$$

$$\begin{aligned} \text{而 } N &= \frac{G_1 m \times \frac{62}{142}}{d} \quad (1-6-46) \\ &= \frac{30 \times 95\% \times \frac{62}{142}}{23\%} \\ &= 54 (\text{kg/t 风干浆}) \end{aligned}$$

提取黑液中绝干固形物 G :

$$\begin{aligned} G &= G_0 - N \quad (1-6-47) \\ &= 1750 - 54 = 1696 (\text{kg/t 风干浆}) \end{aligned}$$

③提取黑液浓度 C 的计算

$$\begin{aligned} C &= \frac{G}{V} \quad (1-6-48) \\ &= \frac{1696}{9.2} \\ &= 184 (\text{g/L}) \end{aligned}$$

即 $12^\circ\text{Be}' (15^\circ\text{C})$

①洗涤效果计算

$$\text{洗涤效率 } \eta = \frac{G}{G_0} = \frac{1696}{1750} = 0.97$$

$$\text{相对浓度 } f = \frac{C}{C_0} = \frac{C}{\frac{G_0}{V_0}} = \frac{184}{\frac{1750}{6.6}} = 0.695$$

$$\text{相对体积 } l = \frac{V}{V_0} = \frac{9.2}{6.6} = 1.39$$

5. 提取黑液浓度 C 与洗涤用水量 W 的关系

假设洗后浆料带走的碱与洗涤用水量无关, 则提取黑液浓度与洗涤用水量的关系为:

$$C = \frac{G}{V} = \frac{G_0 - N}{V_0 + W - M} \quad (1-6-49)$$

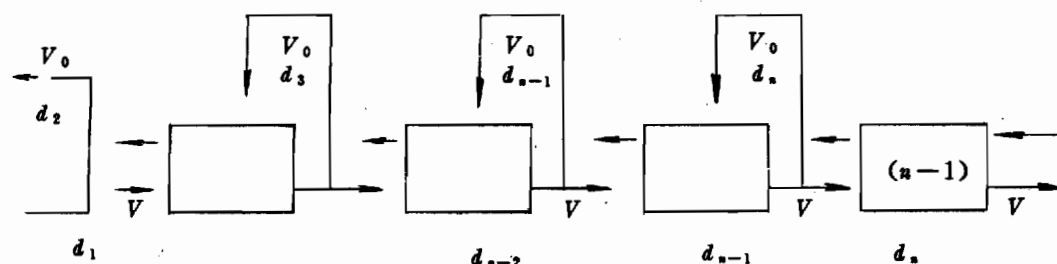
$$= \frac{1750 - 54}{6.6 + W - 5.4}$$

$$\text{即 } C = \frac{1696}{1.2 + W}$$

第六节 多段逆流洗涤的平衡计算

一、多段逆流洗涤的平衡理论计算

【说明】在洗涤过程中, 只有采取多段逆流洗涤才可能在较小的稀释因子下, 充分发挥扩散作用, 取得较好的洗涤效果。下面以真空洗浆机为例, 介绍其平衡计算, 流程如下:



上图中 V —— 洗浆机出口浆液中的浆液量 (m^3 t 绝干浆)

V_0 —— 洗涤水量 (m^3 t 绝干浆)

d_1, d_2, \dots, d_n —— 各段洗浆机出口浆层中黑液浓度 (g/L)

并设: $K = \frac{V}{V_0}$

则第 $(n-1)$ 段洗浆机前后废液中固形物的平衡计算:

$$V(d_{n-1} - d_n) = V_0 d_n \quad (1-6-50)$$

$$d_{n-1} - d_n = k d_n \quad (1-6-51)$$

第 $(n-2)$ 段洗浆机前后废液中固形物的平衡计算:

$$V(d_{n-2} - d_{n-1}) = V_0(d_{n-1} - d_n) \quad (1-6-52)$$

$$d_{n-2} - d_{n-1} = k^2 d_n \quad (1-6-53)$$

同样:

$$d_1 - d_2 = k^{n-1}d_n \quad (1-6-54)$$

$$\text{上列各式相加得: } d_1 - d_n = (k + k^2 + k^3 + \dots + k^{n-1})d_n \quad (1-6-55)$$

$$d_n = \frac{d_1}{1 + k + k^2 + k^3 + \dots + k^{n-1}} = \frac{k-1}{k^n-1}d_1 \quad (1-6-56)$$

二、多段逆流洗涤出口浆层中的废液浓度计算

【说明】以稀释过滤洗涤为例,多段逆流洗涤各段出口浆层中的废液浓度的计算同式1-6-56。

三、第 n 次洗涤后浆中废液含残碱浓度的计算及实例

【公式】

$$x_1 = \frac{ax_0}{v+a} \quad (1-6-57)$$

$$x_2 = \left(\frac{a}{v+a}\right)x_1 = \left(\frac{a}{v+a}\right)^2x_0 \quad (1-6-58)$$

$$x_n = \left(\frac{a}{v+a}\right)^n x_0 \quad (1-6-59)$$

式中 v —— 每次洗涤用水量(m^3)

a —— 每次洗涤滤干后残留在浆中的残液量(m^3)

x_0 —— 浆料中废液最初所含残碱浓度(当量浓度 N_0)

x_1 —— 第一次洗涤后浆料中废液所含残碱浓度(当量浓度 N_1)

x_2 —— 第二次洗涤后浆中废液所含残碱浓度(当量浓度 N_2)

x_n —— 第 n 次洗涤后浆中废液含残碱浓度(当量浓度 N_n)

【例】某厂洗浆总用水量 100m^3 ,分四次洗涤,每次 25m^3 。如分二次洗涤,每次 50m^3 ,其洗涤效率为多少?(设残留在浆中的液量为 1m^3 ,浆中废液最初残碱含量为 $0.01N$)

解:因为分四次洗涤,所以,

$$x = \left(\frac{1}{25+1}\right)^4 \times 0.01 = 2 \times 10^{-8}$$

若分两次洗涤,则:

$$x = \left(\frac{1}{50+1}\right)^2 \times 0.01 = 3.84 \times 10^{-6}$$

从计算看出,洗涤水量相同时,分四次洗的比分两次洗的残碱含量可降低到原来的

$$\frac{1}{200}$$

第七节 侧压浓缩机的计算

一、侧压浓缩机的洗涤效果估算

【说明】侧压浓缩机的洗涤效果可用一种简便的方法进行估算。即可根据侧压浓缩

机的进浆和出浆浓度估算洗涤效果。对于一台侧压浓缩机,其进浆浓度和出浆浓度一般都有一定的范围,出浆浓度与进浆浓度之比所得的倍数与侧压浓缩机的串联台数作指数所构成的幂即表示洗涤效果。

【公式】

$$K_{\text{最小}} = \left(\frac{B_1}{A_2}\right)^n \quad (1-6-60)$$

$$K_{\text{最大}} = \left(\frac{B_2}{A_1}\right)^n \quad (1-6-61)$$

式中 $K_{\text{最小}}、K_{\text{最大}}$ ——侧压浓缩机的最小和最大洗涤效果(倍)

$A_1、A_2$ ——分别为侧压浓缩机进浆浓度范围的低值和高值(%)

$B_1、B_2$ ——分别为侧压浓缩机出浆浓度范围的低值和高值

n ——侧压浓缩机的串联台数

【例】某台侧压浓缩机的进浆浓度为2.5%(A_1)~3.5%(A_2),出浆浓度为7%(B_1)~10%(B_2),采用2台串联,求其洗涤效果。

解:最小洗涤效果 $K_{\text{最小}}$:

$$K_{\text{最小}} = \left(\frac{B_1}{A_2}\right)^n = \left(\frac{7\%}{3.5\%}\right)^2 = 4(\text{倍})$$

$$K_{\text{最大}} = \left(\frac{B_2}{A_1}\right)^n = \left(\frac{10\%}{2.5\%}\right)^2 = 4^2 = 16(\text{倍})$$

二、侧压浓缩机串联台数的计算

【说明】根据上述侧压浓缩机的洗涤效果即可确定达到工艺要求时需要的侧压浓缩机串联的台数。

【公式】

$$n_{\text{最多}} = \frac{\lg K_{\text{最小}}}{\lg\left(\frac{B_1}{A_2}\right)} \quad (1-6-62)$$

$$n_{\text{最小}} = \frac{\lg K_{\text{最大}}}{\lg\left(\frac{B_2}{A_1}\right)} \quad (1-6-63)$$

式中 $n_{\text{最多}}、n_{\text{最小}}$ ——分别为达到预期洗涤效果所需的侧压浓缩机最小台数和最多台数
其它同式1-6-60和式1-6-61

【例】已知黑液残碱为4g/L,要求洗至残碱为1g/L,求进浆浓度和出浆浓度分别为2.5%~3.5%和7%~10%的侧压浓缩机的串联台数。

$$\text{解: } n_{\text{最多}} = \frac{\lg K_{\text{最小}}}{\lg\left(\frac{B_1}{A_2}\right)} = \frac{\lg 4}{\lg\left(\frac{7\%}{3.5\%}\right)} = \frac{\lg 4}{\lg 2} = 2(\text{台})$$

$$n_{\text{最小}} = \frac{\lg K_{\text{最大}}}{\lg\left(\frac{B_2}{A_1}\right)} = \frac{\lg 4}{\lg\left(\frac{10\%}{2.5\%}\right)} = 1(\text{台})$$

$$[\text{本例中 } K_{\text{最大}} = K_{\text{最小}} = \frac{4}{1} = 4(\text{倍})]$$

可见选一台或两台都可以。由于实际生产中进浆和出浆浓度时有波动,为保证洗涤效果,最好选用两台。

三、侧压浓缩机进、出浆浓度的确定计算

【说明】侧压浓缩机的进浆和出浆浓度的确定需根据洗涤效果和已定的侧压浓缩机串联台数来进行计算,下面举例说明。

【例】已知漂白后残氯为0.5g/L,要求洗至残氯为0.02g/L,已安装了3台串联的侧压浓缩机,其进口浓度和出口浓度分别为2.5%~3.5%和7%~10%,问能否满足工艺要求?

解: 因为 $K_{\text{最大}} = K_{\text{最小}} = K = \frac{0.5}{0.02} = 25$

$$n_{\text{最多}} = \frac{\lg K}{\lg\left(\frac{B_1}{A_2}\right)} = \frac{\lg 25}{\lg\left(\frac{7\%}{3.5\%}\right)} = \frac{\lg 25}{\lg 2} = 4.6$$

$$\text{故: } n_{\text{最小}} = \frac{\lg K}{\lg\left(\frac{B_2}{A_1}\right)} = \frac{\lg 25}{\lg\left(\frac{10\%}{2.5\%}\right)} = \frac{\lg 25}{\lg 4} = 2.3$$

可见现有的三台串联侧压浓缩机只有工艺参数选择适当,才能满足要求,如果出浆浓度为7%,要将浆由残氯0.5g/L洗至0.02g/L,设最大进浆浓度为 A_2 (%),则根据式1-6-62得:

$$\lg\left(\frac{0.5}{0.02}\right) = 3 \lg\left(\frac{7\%}{A_2}\right)$$

解之得 $A_2 = 2.39\%$

即进浆的浓度不得超过2.39%,否则就达不到工艺要求的残氯为0.02g/L。

如果进浆浓度为3%,要把浆由残氯为0.5g/L洗至0.02g/L,设最小出浆浓度为 B_1 (%),则:

$$\lg\left(\frac{0.5}{0.02}\right) = 3 \lg\left(\frac{B_1}{3\%}\right)$$

解之得 $B_1 = 8.77\%$

即出浆浓度不得低于8.77%,否则同样洗不到工艺要求的残氯为0.02g/L。

第八节 纸浆洗涤用水量的确定

【说明】纸浆洗涤用水量一般按定额,参考数据如下:

①真空洗浆机用水量

网上浆页喷水管: $9 \sim 18 \text{ m}^3 / (\text{d} \cdot \text{t 风干浆})$

网上喷网固定喷水管: $0.12 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{min})$

网上喷网摇摆喷水管: $0.016 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{min})$

②贝克曼式漂浆机用水: $70 \sim 80 \text{ m}^3 / \text{t 风干浆}$

③侧压式洗浆机用水: $80 \sim 100 \text{ m}^3 / \text{t 风干浆}$

④普通圆网浓缩机用水: $100 \sim 120 \text{ m}^3 / \text{t 风干浆}$

⑤泵及搅拌器密封用水: $0.012 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{min})$

⑥真空洗浆机水封槽用水: 一般加入最末一至二个水封槽内,水量可自定。

第七章 纸浆筛选过程的工艺与设备计算

第一节 纸浆筛选效率的计算

一、按尘埃的大小和个数计算

【说明】 筛选效率通常是用目测的方法测定,即按规定抄成纸样与标准的样板对照,确定尘埃的大小和个数。

【公式】

$$Y_B = 100(1 - \frac{B_a}{B_e}) \quad (1-7-1)$$

式中 y_B ——筛选的效率(%)

B_a ——筛选后纸浆中的尘埃(包括纤维束)的个数

B_e ——筛选前纸浆中尘埃的个数

【例】 取某厂筛浆机入口 5g 绝干浆,抄成浆样,其上 0.3~0.5mm² 的尘埃共 30 个;同样,取出口浆 5g(绝干),抄成浆样,其上 0.3~0.5mm² 的尘埃 5 个,求筛选效率。

解: $Y_B = 100(1 - \frac{B_a}{B_e}) = 100(1 - \frac{5}{30}) = 83\%$

二、采用筛分的办法计算

【说明】 该法是指在 29.43kPa(0.3kg/cm²)的水压下,在筛分仪内处理 5min,以留在 18 目筛网上的浆为粗渣,与留在 30 目网上的浆进行对比,这种方法多用于磨木浆。

【公式】

$$Y_r = \frac{100S_r - \alpha S_a}{S_r} \quad (1-7-2)$$

式中 Y_r ——筛渣除去百分率

S_r ——未筛洗的浆残留在 18 目筛网上筛渣的百分率

S_a ——筛后细浆残留在 18 目筛网上筛渣的百分率

α ——细浆量,即占未筛浆的细浆百分率

$$\alpha = \frac{L_r - L_e}{L_r - L_a} \times 100 \quad (1-7-3)$$

L_r ——筛渣残留在 30 目筛网上的百分率

L_e ——未筛浆残留在 30 目筛网上的百分率

L_a ——细浆残留在 30 目筛网上的百分率

三、磨木浆筛选效率的计算

(一)筛选比率的计算

【说明】 筛子的分离效率通常是以所达到的分离作用和排出的尾渣量的关系来评价

的,为了说明分离效率与粗渣比基本无关,Nelson 引入一单一指数 Q ,称为筛选比率或碎片去除指数。

【公式】

$$Q = \frac{E_c}{R_w + E_c(1 - R_w)} \quad (1-7-4)$$

$$\text{或 } Q = \frac{E_r - R_w}{E_r(1 - R_w)} \quad (1-7-5)$$

$$Q = \frac{E_c}{E_r} \quad (1-7-6)$$

$$Q = 1 - \frac{S_a}{S_r} \quad (1-7-7)$$

式中 E_r —— 碎片去除效率

E_c —— 除渣效率

R_w —— 排渣比,以重量计

S_a —— 良浆中碎屑浓度

S_r —— 粗渣中碎屑浓度

【讨论】 当筛选效率为 100% 时,碎片去除指数 $Q = 1.00$,即在所排放的粗渣中只有碎片,而没有好纤维。当 $Q = 0$ 时,为完全没有分离作用,即良浆中的碎片浓度与粗渣中的浓度相等。

(二)长纤维损失指数的计算

【说明】 在有些时候,需要对纤维进行筛分,比如工厂也许要排放一部分磨木浆纤维中长纤维组分的一部分,以进一步进行机械和化学处理,这时候,可采用长纤维损失指数 T_{30} 来定义鲍尔纤维筛分器(Bauer—Menett)的长纤维(大于 30 目)组分。

【公式】

$$T_{30} = \frac{R_w(1 - L_{30})}{L_{30}(1 - R_w)} \quad (1-7-8)$$

式中 T_{30} —— 大于 30 目的长纤维损失指数

L_{30} —— 粗渣中长纤维流量与喂料中长纤维流量之比的纤维损失

R_w —— 排渣比,以重量计

【讨论】 当 $T_{30} = 1.00$ 时,无筛分作用;当 $T_{30} = 0$ 时,所研究的全部筛分都在粗渣中。

第二节 排渣率的计算

【说明】 尾渣率是衡量筛选设备纤维流失的一个指标。

【公式】

$$K = \frac{Q_1}{Q} \times 100\% \quad (1-7-9)$$

式中 Q_1 —— 尾浆量(m^3/h)

Q —— 进浆量(m^3/h)

K —— 尾浆率(%)

【例】 某厂筛浆机每小时处理浆料 0.8t(绝干),被筛出粗渣量 0.17t(绝干),求排渣

率。

$$\begin{aligned}\text{解: } K &= \frac{0.17}{0.8} \times 100\% \\ &= 21.25\%\end{aligned}$$

第三节 筛浆机的工艺计算

一、筛浆机的生产能力计算

【公式】

$$G = 864C\gamma\mu\eta\alpha_1\alpha_2F\sqrt{2gH} \quad (1-7-10)$$

式中 G —— 生产能力(t/d)

C —— 浆料浓度(%)

γ —— 浆料容重,通常取 $1(\text{t/m}^3)$

μ —— 筛缝(孔)局部阻力系数

η —— 浆料物理特性(打浆度、纤维形态、浆料配比等)对浆料通过筛缝(孔)的流动过程的影响系数

α_1 —— 筛板面积利用系数,取决于筛浆机的结构,可按筛板(鼓)浸入纸浆中的面积与其全面积之比来计算

α_2 —— 表示筛板上孔(缝)眼阻塞程度的系数,它取决于筛浆机结构及清洗筛板(鼓)的装置

F —— 筛浆机全部筛板的筛缝(孔)面积(m^2)

H —— 筛板鼓内外浆料压力差(mH_2O)

g —— 重力加速度(9.81m/s^2)

二、平板振动筛的生产能力计算

【公式】

$$G = \eta\mu F\sqrt{2gH} \quad (1-7-11)$$

式中 G —— 生产能力(m^3/s)

η —— 与浆料的物理性质和纯度有关的系数

μ —— 流量系数,一般取 0.62

F —— 筛缝(孔)全面积(m^2)

H —— 浆位高度(m)

g —— 重力加速度(9.81m/s^2)

三、C 型离心筛的计算

(一)离心筛动力消耗计算

1. 国际单位制计算

【公式】

$$N = \frac{Gd^2n^2}{1703.17} \quad (1-7-12)$$

式中 N —— 筛浆动力(kW)
 G —— 流量(m^3/min)
 d —— 转子外径(m)
 n —— 转子转数(r/min)

2. 英制单位制计算

【公式】

$$N = \frac{Gd^2n^2}{557 \times 10^7} \quad (1-7-13)$$

式中 N —— 动力(马力)
 G —— 流量(USgal/min)
 d —— 转子外径(m)
 n —— 转数(r/min)

(二) 稀释水量的计算

【公式】

$$Q = \frac{\alpha(\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}) + 100(\frac{1}{C_3} - \frac{1}{C_1})}{1590.4} \quad (1-7-14)$$

式中 Q —— 稀释水量[$\text{m}^3/(\text{t 绝干浆} \cdot \text{d})$]
 C_1 —— 尾浆浓度(%)
 C_2 —— 进浆浓度(%)
 C_3 —— 良浆浓度(%)
 α —— 良浆量占进浆量的百分数(%)

$$\alpha = 100 \times \frac{S_1(S_2 - S_3)}{S_2(S_1 - S_3)} \quad (1-7-15)$$

S_1 —— 尾浆中粗渣的百分数(%)
 S_2 —— 进浆中粗渣的百分数(%)
 S_3 —— 良浆中粗渣的百分数(%)

(三) CX 型离心筛开孔率的计算

【说明】 筛孔(缝)的面积占筛板总面积的百分比称为筛板开孔率。开孔率的计算视筛孔的排列形式的不同而异,一般常用的六角梅花形排列(见图 1-7-1)的开孔率计算可用式 1-7-16。

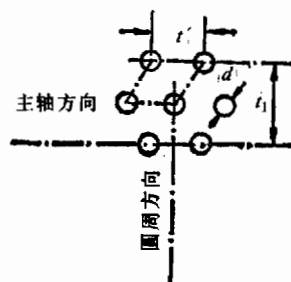


图 1-7-1 六角梅花形排列的筛孔

$$\begin{aligned} \text{【公式】 } \beta &= \frac{\text{单孔面积}}{\text{相邻四孔中心连成的平行四边形面积}} \times 100\% \\ &= \frac{\pi d^2}{4t \sqrt{t^2 - (\frac{t}{2})^2}} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= \frac{0.785d^2}{0.866t^2} \times 100\%$$

$$= 0.906\left(\frac{d}{t}\right)^2 \times 100\% \quad (1-7-16)$$

式中 β —— 开孔率(%)

d —— 孔径(mm)

t —— 相邻最近的两孔孔距(mm)

(四) Cx 型(或 ZSL₁₋₄型)离心筛筛孔排列尺寸与纤维平均长度的关系

【说明】 Cx 型(或 ZSL₁₋₄型)离心筛筛孔排列尺寸与纤维平均长度的关系见表 1-7-1。表中粗线条内的尺寸为优先选用的范围。此外还可采用 $\Phi 1 \sim 1.51\text{mm}$ 的筛孔,一般短于 1mm 的纤维多采用 $\Phi 1.2\text{mm}$ 或 $\Phi 1\text{mm}$ 的筛孔。

表 1-7-1 CX 型离心筛筛孔尺寸与纤维平均长度的关系 (单位:mm)

d	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	纤维平均长度
t	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3				1~1.5
β	17.9	21.1	24.1	27	29.6								
t		3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6					1.5~2.0
β		15.4	17.9	20.3	22.6	25	27	29					
t			4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	2.0~2.5
β			13.6	15.9	19.7	19.9	21.7	23.5	25.3	27.0	28.5	30	
t				4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	2.5~3.0
β				12.7	14.5	16.2	17.9	19.6	21.1	22.6	24.1	25.6	
t					5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	3.0~3.5
β					12	13.5	15	16.5	17.9	19.3	20.0	22	

筛孔 β —— 开孔率
排列 粗黑线框内优先选用

四、旋翼筛的计算

(一) 生产能力计算

【公式】

$$Q = 3600\mu CF \sqrt{2g(H+1)} \quad (1-7-17)$$

式中 Q —— 生产能力(kg 绝干浆/h)

μ —— 流量系数(一般取 29~32 左右)

C —— 良浆浓度(%)

F —— 筛板总的开孔面积(m^2)

g —— 重力加速度(9.81m/s^2)

H —— 进浆静压头(mH_2O)

【例】 某厂生产印刷纸,选用 ZSL₁₃型旋翼筛,总有效面积为 0.9m^2 ,筛板孔径为 $\Phi 2.0\text{mm}$,开孔率为 22.44%,进浆压力为 0.5kg/cm^2 ,良浆浓度为 0.8%,取流量系数为 30,求其生产能力。

解: $F = 0.91 \times 22.44\% = 0.2042(\text{m}^2)$

$$H = 0.5 \text{ kg/cm}^2 = 0.5 \times 10 = 5 (\text{mH}_2\text{O})$$

$$\begin{aligned} Q &= 3600 \mu CF \sqrt{2g(H+1)} \\ &= 3600 \times 30 \times 0.8\% \times 0.2042 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times (5+1)} \\ &= 1913.26 (\text{kg/h}) = 1.913 (\text{t/h}) \end{aligned}$$

(二) 旋翼筛的开孔率及筛板孔眼规格的选择

【说明】 ZSL₁₂和 ZSL₁₃型旋翼筛的开孔率见表 1-7-2;不同纸种选用的筛板孔眼规格见表 1-7-3。

表 1-7-2

旋翼筛的开孔率

孔径Φ (mm)	型号 开孔率	ZSL ₁₃	ZSL ₁₂
1.2		12.56	12.56
1.4		17.10	17.10
1.6		22.33	22.33
1.8		18.17	18.17
2.0		22.44	22.44
2.2		/	27.14
2.4		32.30	32.30
2.5		24.53	/
2.8		30.77	/
3.0		35.32	/
3.1		25.15	/
3.3		28.5	/
3.5		32.05	/

注: ZSL₁₃的筛板有效总面积为 0.91m²。

ZSL₁₂的筛板有效总面积为 0.42m²。

表 1-7-3

不同纸种常用的筛孔规格

纸 种	孔 径 (mm)
电容器纸	Φ1.0 ~ Φ1.4
书写纸、印刷纸、卷烟纸等	Φ1.6 ~ Φ2.0
电缆纸	Φ1.8 ~ Φ2.4
字典纸、防油纸	Φ1.6 ~ Φ2.2
新闻纸	Φ1.8 ~ Φ2.4
纸袋纸、包装纸	Φ2 ~ Φ2.8
草板纸	Φ2.4 ~ Φ3.2
瓦楞原纸	Φ2.0 ~ Φ3.2
厚纸板	Φ2.8 ~ Φ3.2
纸板内层	Φ2.4 ~ Φ3.0
纸板面层	Φ1.8 ~ Φ2.4

(三) 旋翼筛台数的确定计算

【说明】 旋翼筛的种类很多,各有特点。我国目前生产的旋翼筛主要是单鼓外流式的,几种型号的结构相似,只是规格不同,生产能力不同。另外小型号的转速较高。旋翼的数量多,转速高,对筛选操作是有利的。国产单鼓外流式旋翼筛都是两个旋翼的,其中小型

号的转速较高,所以对提高筛选效率有利。但小型号的生产能力低,单位耗电量大,所以选择时应统筹兼顾,旋翼筛台数的确定,可根据下式计算。

【公式】

$$n = \frac{W}{q} \quad (1-7-18)$$

$$\text{或 } n = \frac{QC}{q} \quad (1-7-19)$$

式中 n —— 所需旋翼筛的台数

W —— 通过的纸料量(t/h)

Q —— 通过的纸料流量(m^3/h)

C —— 通过的纸料浓度(%)

q —— 压力筛的生产能力(t/h),不同纸种的旋翼筛的生产能力见表 1-7-4

表 1-7-4

$\Phi 610 \times 610$ 压力筛的生产能力

纸 种	纸 料 配 比	筛 孔 (mm)	通过量 (m^3/min)	浓 度 (%)	产 量 (t/d)
书本纸	漂白亚硫酸盐浆	1.6	6.8	0.3	29.3
白板纸面浆	漂白亚硫酸盐浆	2.4	4.2	0.4	34
	白纸边	2.4	3.4	0.3	13.8
包装纸板	混合浆	2.4	3.0	0.5	21.8
	稻草浆	3.2	3.7	0.6	32.7
纸袋纸	牛皮纸浆	2.4	8.3	0.5	60
半透明纸	亚硫酸盐及牛皮纸浆	2.0	5.4	0.5	38.2
防油纸	亚硫酸盐浆	1.6	4.5	0.5	32.7
笔记用纸	漂白亚硫酸盐浆	1.6	6.3	0.4	39.3
新闻纸	磨木浆及亚硫酸盐浆	1.6	6.4	0.8	74.2
箱纸板	废牛皮纸浆	3.2	3.0	0.6	26.2
低级文化用纸	漂白亚硫酸盐浆	1.6	7.6	0.3	30.7
餐巾纸	机浆及漂白亚硫酸盐浆	2.0	7.9	0.8	91.7
水果包装纸	漂白亚硫酸盐浆	2.0	11.0	0.2	31.6

(四)旋翼筛的选型计算

【说明】 旋翼筛的合理选型,主要掌握两个参数,一是产量,二是筛孔规格。说明书上写明的产量是筛浆机能力的一般产量,至于合理的选择,可按下列办法进行。

【例】 已知某厂生产印刷纸,要选择一台旋翼筛,其基本条件为:产量 Q 1.8t/h,良浆浓度 C 为 0.8%,流量系数 μ 为 30,进浆压力为 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$,试选择旋翼筛的型号。

解: $H = 0.5\text{kg}/\text{cm}^2 \times 10 = 5(\text{mH}_2\text{O})$

$$Q = 3600\mu F \sqrt{2g(H+1)}$$

$$\begin{aligned} \text{得: } F &= \frac{Q}{3600\mu C \sqrt{2g(H+1)}} \\ &= \frac{1800}{3600 \times 30 \times 0.8\% \sqrt{2 \times 9.8 \times (5+1)}} \end{aligned}$$

$$= \frac{1800}{9369.52} = 0.1921(\text{m})$$

查表 1-7-3 知,选筛板筛孔为 $\Phi 2.0\text{mm}$,又查表 1-7-2 知,开孔率为 22.44%,则:

$$\text{总有效面积} = \frac{F}{\text{开孔率}} = \frac{0.1921}{22.44\%} = 0.86(\text{m}^2)$$

由表 1-7-2 知,应选择 ZSL₁₃型旋翼筛,其筛板孔径为 $\Phi 2.0\text{mm}$,开孔率为 22.44%。

第八章 纸浆净化过程的工艺与设备计算

第一节 沉砂槽的计算

一、沉砂槽的主要经验数据

【说明】 沉砂槽(又称沉砂沟或沉砂盘)是采用重力自然沉降砂粒等重物的最简单的净化设备,它主要沉降颗粒较大的粗砂(直径在 $300\mu\text{m}$ 以上),需占用一定的面积。它不需动力,但浓度要冲稀,在纸机网前或其它筛选设备串联均可,在制浆车间则需增加浓缩设备的负荷。过去在 A 型离心筛或低频振动筛前用沉砂槽,往往可以代替进浆箱,现在推广高浓筛选则存在一定矛盾。沉砂槽的主要经验数据见表 1-8-1。

表 1-8-1 沉砂槽的主要经验数据

装 用 地 点	制 浆 车 间	造 纸 车 间
沟宽(m)	1.25~1.5	0.8~1.6
沟长(m)	25~30,最短不少于 18	5~10,多砂的浆可达 15
浓度(%)	一般 0.25~0.5,化学木浆<0.8,苇浆<0.7,机械浆<1	0.35~0.4,最高有达 0.6~0.7
流速(m/min)	一般 15~18,高级浆 12~15,最高有达 20	9~12,最高有达 15 以上
隔板上浆层高(mm)	平均 200 可达 250	70~180 或略高些
隔板高度(mm)	250~500	70~80
隔板间距(mm)	500~1000	250~400
隔板倾斜度	顺流向 $60^{\circ}\sim 65^{\circ}$	
沟底倾斜度(%)	沿流向 0.7~1	0.4~2
清洗口设置	每 5m 长左右设一个	
纤维流失(%)	0.5~0.8	—
单位产量的面积 [$\text{m}^2/(\text{t}\cdot\text{d})$]	一般化学浆 1.5,高级浆 2.15	0.7~0.9

二、沉砂槽的流量及槽宽计算

【说明】 如图 1-8-1 所示,沉砂槽实际上是一个流浆的沟槽。可用木板或水泥制成。为了保证浆的流动,以及便于排污,盘底是水平的,或者具有 $0.5\sim 2\%$ 的沿流向下倾斜的坡度。为了有利于捕集沉淀的泥砂,并使沉淀物不再被卷起,槽底设有高 $70\sim 80\text{mm}$ 的隔板,垂直立放,也可倾斜 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 角,隔板间距 $250\sim 400\text{mm}$ 。槽内浆位高度为 $0.10\sim 0.18\text{m}$,槽体高度 $300\sim 400\text{mm}$,槽内浆料流速 $9\sim 12\text{m/min}$ 。盘的流量及宽度计算如下。

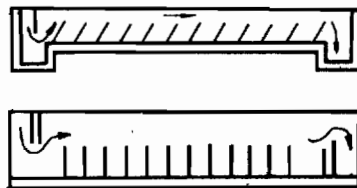


图 1-8-1 沉砂盘结构示意图

【公式】 $Q = bVh$ (1-8-1)

$b = \frac{Q}{Vh}$ (1-8-2)

式中 Q —— 浆料流量(m^3/min)

b —— 沉砂槽宽度(m)

h —— 隔板之上的浆料高度(m)

V —— 浆料流速(m/min)

【注意】 一般宽度为 0.8~1.6m 时,槽内浆流速度易做到均匀,无停浆,无死角,因此计算宽度超过此值时,应建成多沟式的。

三、沉砂槽的生产能力计算

【公式】

$G = \frac{bhvc \times 60 \times 24}{0.9}$ (1-8-3)

式中 G —— 生产能力(t 风干浆/ d)

b —— 除砂槽宽度(m)

v —— 浆料流速(m/min)

h —— 在隔板顶上浆层高度(m)

c —— 浆料浓度(以小数计)

四、沉砂槽尺寸的确定计算

(一)经验数据法

1. 沉砂槽浆的流量计算

【公式】

$Q = VHb\rho$ (1-8-5)

式中 Q —— 沉砂槽浆的流量(m^3/min)

H —— 浆料进入沉砂槽时,液面至槛板之间的距离(m)

b —— 沉砂槽宽度(m)

V —— 浆料流动时使微粒沉淀的流速(m/min)

ρ —— 浆的密度(t/m^3)

2. 沉砂槽有效面积的计算

【公式】

$A = Lb$ (1-8-6)

式中 A —— 沉砂槽有效面积(m^2)

b —— 沉砂槽宽度(m)

L —— 沉砂槽长度(m)

(二)经验数据法计算槽宽和槽的长度实例

【例】 在设计造纸厂沉砂槽时,常用这样几个经验数据:处理每吨绝干浆每天约需 0.8~1 m^2 的沉砂面积;浆料流动时,使砂粒等重物沉淀的流速为 9~12 m/min 。现某厂每天要求处理 20 t 绝干浆,浆浓为 1%,浆料液面至槛板的距离为 30 cm ,试确定沉砂槽的长

度和宽度。

解：以每日所产绝干浆量为计算基准，则：

$$Q = 20(\text{t 绝干浆/d}) = \frac{20}{1\% \times 60 \times 24} = 1.3889(\text{m}^3/\text{min})$$

$$H = 30(\text{cm}) = 0.3(\text{m})$$

$$\rho = 1(\text{t/m}^3)$$

V 取 10m/min

根据式 1-8-5 得：

$$\text{沉砂槽宽度 } b = \frac{Q}{VH\rho} = \frac{1.3889}{10 \times 0.3 \times 1} = 0.463(\text{m})$$

根据已知条件，取每天处理每吨绝干浆约需 0.9m^2 ，则每天约需沉砂槽总面积为：

$$A = 0.9 \times 20 = 18(\text{m}^2/\text{d})$$

所需沉砂槽总长度为：

$$L = \frac{A}{b} = \frac{18}{0.463} = 38.88(\text{m})$$

第二节 锥形除砂器的工艺计算

一、流体的涡旋运动特点表达式

【说明】流体的涡旋运动特点是，在距涡旋回转中心不同距离处的圆周速度与该处距离之乘积为常数。

【表达式】

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2 = \text{常数} \quad (1-8-7)$$

式中 ω_1, ω_2 ——不同质点的圆周速度(1/s)

r_1, r_2 ——不同质点的回转半径(m)

二、浆料涡旋运动产生的离心力计算

(一)浆料涡旋运动产生的离心力

【说明】锥形除砂器整个进浆(包括浆中水分带动悬浮的纤维和杂质)都在涡旋运动中产生离心力。

【公式】

$$F = \frac{mV^2}{R} \quad (1-8-8)$$

式中 F ——离心力(N)

m ——旋转浆料质量(kg)

v ——旋转速度(m/s)

R ——旋转半径(m)

(二)浆料每一质点受到的离心力计算

【公式】

$$F = m\omega^2 R = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho \omega^2 R \quad (1-8-9)$$

式中 F —— 离心力(N)
 m —— 质点质量(kg)
 ω —— 质点角速度(1/s)
 R —— 质点与回转轴线之距离(m)
 r —— 球形质点的半径(m)
 ρ —— 球形质点的密度(kg/m³)

三、锥形除砂器的流量计算

(一)由压力差计算进浆量

【公式】

$$Q = K \sqrt{P_1 - P_2} \quad (1-8-10)$$

式中 Q —— 除砂器的进浆量(L/min)

K —— 常数, 随器体尺寸和构造而变化。参阅图 1-8-2 和图 1-8-3

P_1 —— 进浆压力(kg/cm²)

P_2 —— 良浆压力(kg/cm²)

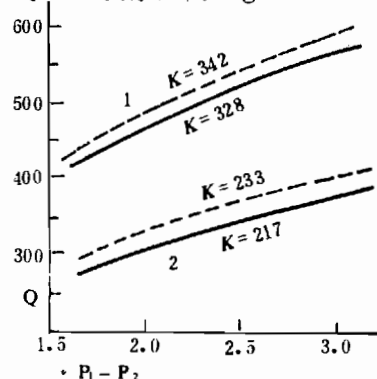


图 1-8-2 606 锥形除砂器通过能力

Q — 通过量(L/min) $P_1 - P_2$ — 压力差(kg/cm²)

1 组曲线—进出口为 $\Phi 58\text{mm}$ 及 $\Phi 50\text{mm}$ 2 组曲线—进出口为 $\Phi 38\text{mm}$ 及 $\Phi 40\text{mm}$ 虚线—清水 实线—0.5% 浓度纸浆

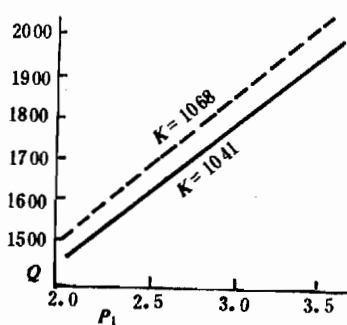


图 1-8-3 623 锥形除砂器通过能力

Q — 通过量(l/min) P_1 — 进浆压力(kg/cm²)

虚线—清水 实线—0.4% 浓度纸浆

(二)由进浆口截面积计算进浆量

【公式】

$$Q = F \sqrt{\frac{20g(P_1 - P_2)}{\gamma(1 + \epsilon)}} \quad (1-8-11)$$

式中 Q —— 进浆量(m³/s)

F —— 进浆口截面积(m²)

γ —— 浆料重度(N/m³)

ϵ —— 阻力系数, 一般为 10~15

P_1, P_2 —— 分别为进浆和良浆出口压力(Pa)

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

(三)由除砂器高度计算进浆量

【公式】

$$Q = K_1 V H \sqrt{R} \quad (1-8-12)$$

式中 Q —— 进浆量(m^3/s)
 K_1 —— 系数
 V —— 进浆速度(m/s)
 H —— 除砂器高度(m)
 R —— 除砂器圆柱部半径(m)

(四) 流量的经验计算

【说明】 从不同资料中关于流量 Q 的计算公式的报道是不尽一致的, 下列式为经验计算式。

$$\text{【公式】 } Q = K_1 d_1^2 \sqrt{\Delta P} \quad (1-8-13)$$

$$Q = K_2 (d_1 d_c)^{0.9} \sqrt{\Delta P} \quad (1-8-14)$$

$$Q = K_3 d d_w \sqrt{\Delta P} \quad (1-8-15)$$

$$Q = K_4 d d_c \sqrt{\Delta P} \quad (1-8-16)$$

式中 Q —— 流量(m^3/s)
 d_1 —— 进浆管直径(m)
 d_c —— 上部细浆排出管直径(m)
 d_w —— 底部粗浆排出口直径(m)
 d —— 除砂器圆筒部分直径(m)
 $K_1 \sim K_4$ —— 均为系数
 ΔP —— 除砂器的压力降(Pa)(表压)

【讨论】 对于大多数锥形除砂器而言, 最简便适用的计算公式为下式。

$$Q = K d_1^2 \sqrt{\Delta P} \quad (1-8-17)$$

式中 Q —— 流量(m^3/h)
 d_1 —— 进浆管直径(cm)
 ΔP —— 压力降(表压)(kg/cm^2)
 K —— 无因次系数, 对于要分离的固体杂质的浆料, 可取2~3

四、节流比的计算

【说明】 节流比可以用来衡量锥形除砂器的性能, 其值类似于衡量离心泵性能的比转速的概念。

$$\text{【公式】 } m = \frac{Q}{D^2 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}}} \quad (1-8-18)$$

式中 m —— 节流比
 Q —— 流量(m^3/s)
 D —— 除砂器上部直径(m)
 P_1 —— 进浆压力(Pa)
 P_2 —— 良浆压力(Pa)
 γ —— 纸浆流体重度(N/m^3)

五、除砂器进口流速的计算

【公式】

$$V = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma(1 + \epsilon)}} \quad (1-8-19)$$

式中 V —— 流速(m/s)

其它符号含义及单位同式1-8-11

六、除砂器内螺纹下锥口螺旋角的计算

【说明】 几年前,国外对除渣器的排渣口采用了内螺纹下锥口,如图1-8-4所示,这种构造的特点是将已分离到圆周器壁上的粗渣纳入内螺牙凹槽内,沿着螺旋形槽底旋转排出。这样,已聚集在器壁的粗渣不会越积越厚,不易产生排渣口堵塞或粗渣又重新被良浆带回内圈的现象。另外,除渣效率也略高一些。

设良浆管伸进器内的深度是在下锥部内径等于 $0.7D$ 处(D 为器体圆柱部分内径)及良浆管外径等于 $0.43D$ 时(此尺寸偏大),计算得内螺纹的螺旋角见式1-8-20

【公式】

$$\operatorname{tg} \beta = 1.55 \frac{D_1}{D} \quad (1-8-20)$$

式中 β —— 内螺纹螺旋角

D_1 —— 进浆口直径(m)

D —— 圆筒部分内径(m)

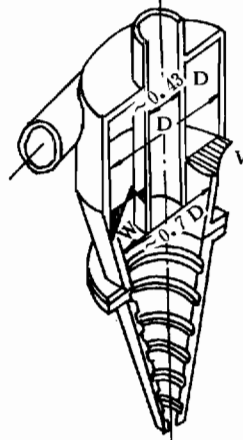


图1-8-4 内螺纹下锥口剖视

七、除砂器型号的选择计算

【说明】 锥形除渣器电耗较大,因此选用型号规格必须精打细算,以成纸能符合质量要求即可;同时应尽量减少纤维流失。除砂器的型号大小主要决定因素是其圆筒部分直径的大小,除砂器圆筒部分的直径与除去粗渣颗粒直径有一定的关系。为此,低级纸和厚纸一般选用大型号,高级纸和薄纸则选用小型号。例如623型对 0.5mm^2 以上尘埃能筛除较干净,而对 0.5mm^2 以下的尘埃筛除效果较小。除砂器圆筒部分直径 D 与所需除去的粗渣颗粒直径 d 的关系如下。

【公式】

$$d = \sqrt{\frac{\mu D}{(\gamma_1 - \gamma_2)n\sqrt{P_1 - P_2}}} \quad (1-8-21)$$

式中 d —— 除去粗渣颗粒直径(m)

D —— 除渣器圆柱部分直径(m)

γ_1 —— 粗渣的重度(N/m^3)

γ_2 —— 浆料的重度(N/m^3)

P_1 —— 进浆压力(Pa)

P_2 —— 良浆压力(Pa)

μ —— 介质粘度 (Pa·s)

n —— 浆在器壁上的回转数

八、除砂器的生产能力计算

【说明】 不同浆种与不同类型的杂质和尘埃,应选用不同型号和规格的除渣器。净化粗浆时一般选用大型号,一般浆料的净化选用中等型号的除砂器。除砂器的型号及生产能力见表1-8-2

表1-8-2 锥形除砂器的生产能力(kg/min)

型 号	600	606	622	623	624
顶端直径(mm)	75	150	300	300	300
通过量(l/min)	76	340	830	1890	3225
进口压力(kg/cm ²)	2.8~3.3	3.2~3.7	3.5~4.0	3.5~4.0	3.5~4.0
出口压力(kg/cm ²)	0~0.5	0~0.5	0~0.5	0~0.5	0~0.5
浓 度 (%)	0.1	0.076	0.34	0.83	1.89
	0.2	0.152	0.68	1.66	3.78
	0.25	0.19	0.85	2.075	4.725
	0.30	0.228	1.02	2.49	5.67
	0.35	0.266	1.19	2.905	6.615
	0.40	0.304	1.36	3.32	7.56
	0.45	0.342	1.53	3.735	8.505
	0.50	0.380	1.70	4.15	9.45
	0.55	0.418	1.87	4.565	10.395
	0.60	0.456	2.04	4.98	11.34
	0.65	0.494	2.21	5.395	12.285
	0.70	0.532	2.38	5.81	13.28
	0.75	0.57	2.55	6.225	14.175
	0.80	0.608	2.72	6.64	15.12
	0.85	0.646	2.89	7.055	16.605
	0.90	0.684	3.06	7.47	17.01
	0.95	0.722	3.23	7.885	17.955
	1.0	0.76	3.4	8.3	18.90

九、除砂器台数的选择计算

【说明】 如果知道了需净化的纸料量,以及每台除渣器的生产能力,便可用下式求取所需的除渣器的台数。

【公式】

$$n = \frac{Q}{GK} \quad (1-8-22)$$

式中 n —— 除砂器台数

Q —— 稀释后需处理的纸料量(L/min),由物料平衡计算求得

G —— 每台除砂器的能力(L/min)

K ——设备利用系数,筛选工段可取0.7,纸机前净化可取1

十、锥形除砂器的压头损失计算

【公式】

$$\Delta h = \zeta \frac{U^2 \gamma}{2g}$$

式中 Δh ——压头损失(Pa)

γ ——浆料重度(N/m³)

U ——圆周速度(m/s)

$$U = \omega R$$

ω ——浆流旋转的角速度(1/s)

R ——距中心轴线的距离(m)

ζ ——阻力系数,对圆柱体部分直径为75mm和150mm的锥形除砂器,可由下式求得:

$$\zeta = 54.3 \frac{(d_1/d_c)^{2.8}}{(d/d_c)^{1.8}} \quad (1-8-24)$$

d_1 、 d_c 、 d ——分别为进浆管、良浆排出管和除砂器圆柱部分的直径(m)

第九章 纸浆漂白的工艺与设备计算

第一节 漂白反应的理論計算

一、氧漂过程脱木素反应的速率方程式

【说明】 Teder 等人在仔细研究了漂白时间、碱浓、 O_2 分压、温度、离子强度及浆浓等因素对脱木素速率的影响后，将研究结果归纳成如下的脱木素速率方程式。

【方程式】

$$-\frac{dL}{dt} = K_1[OH^-]^{0.1}P_{O_2}^{0.1}m_1 + K_2[OH^-]^{0.2}P_{O_2}^{0.2}m_2 \quad (1-9-1)$$

式中 L —— 木素量

K_1, K_2 —— 初期、终期脱木素反应速度常数

$[OH^-]$ —— 碱浓

P_{O_2} —— 氧分压

m_1 —— 简单除去木素量

m_2 —— 缓慢除去木素量

二、氧漂对碳水化合物的降解反应速率方程式

【说明】 氧漂时对碳水化合物的降解也分为反应快的初期阶段和反应慢的终期阶段，其速率方程式如下：

【方程式】

$$\frac{dn}{dt} = K_3[OH^-]^{0.2}P_{O_2}^{0.8} + K_4[OH^-]^{0.6}P_{O_2}^{0.1} \quad (1-9-2)$$

式中 n —— 纤维素分子链数

K_3, K_4 —— 初期和终期阶段各自的反应速率常数

$[OH^-]$ —— 碱浓

P_{O_2} —— 氧分压

第二节 次氯酸盐漂液的制备计算

一、石灰用量(灰比)的计算

【说明】 按氯与石灰反应的摩尔质量比例计算：

$Cl_2:Ca(OH)_2=71:74=1:1.04$

$Cl_2:CaO=71:56=1:0.79$

即根据理论计算,生成次氯酸钙的每100kg 氯需用104kg 硝石灰,或79kg 生石灰。但在实际生产中,氯与石灰的比值要大于理论数。这是因为:①次氯酸钙溶液须维持过量的游离氯化钙溶液才能稳定不致分解;②漂液需有过量的游离氯化钙,以中和漂白过程中产生的CO₂及有机酸,使漂白反应控制在适当的 pH 范围内;③生产中的石灰纯度一般在85~90%左右,还要考虑在操作中的损失等。所以,实际上100kg 氯需用:

$$\frac{104}{0.85} \times 1.15 = 140 (\text{kg 硝石灰})$$

$$\frac{79}{0.85} \times 1.15 = 107 (\text{kg 生石灰})$$

二、石灰乳液浓度的计算

【公式】

$$C = C_1 G \quad (1-9-3)$$

式中 C —— 石灰乳浓度(g/L)

C₁ —— 漂液有效氯浓度(g/L)

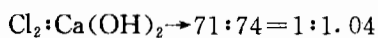
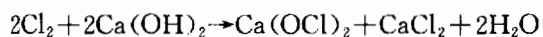
G —— 实际石灰用量(kg/kg 有效氯)

三、石灰用量及石灰乳浓度的计算实例

【例】 ①计算制漂过程中,100kg 氯所需用的硝石灰或生石灰的量。石灰的纯度为85%;②当制造含有效氯浓度为30g/L 的漂液时,石灰乳液的浓度应为多少。

解:①硝石灰或生石灰用量的计算

根据制漂反应:



即理论上100kg 氯需104kgCa(OH)₂或79kgCaO 进行完全反应。实际上100kg 氯需要的硝石灰量:

$$\frac{104}{85\%} \times 1.15 = 141 [\text{kgCa}(\text{OH})_2]$$

需要的生石灰量为:

$$141 \times \frac{56}{74} = 107 (\text{kgCaO})$$

②石灰乳液的浓度计算

$$30 \times 1.41 = 42.3 (\text{g/L})$$

四、石灰乳液的相对密度、浓度与温度之间的关系

【说明】 参见表1-9-1。

表1-9-1

石灰乳液的相对密度、浓度与温度之间的相互关系

波美度 (°Be')	相对密度 (20°C)	CaO 含量 (g/L)	CaO 含量 (重量%)	Ca(OH) ₂ 含量(g/L)	Ca(OH) ₂ 含 量(重量%)
1.23	1.0085	10	0.99	13.2	1.31
2.43	1.017	20	1.96	26.4	2.59
3.47	1.0245	30	2.93	39.6	3.87
4.43	1.0315	40	3.88	52.8	5.13
5.44	1.039	50	4.81	66.1	6.36
6.375	1.046	60	5.74	79.3	7.58
7.36	1.0535	70	6.65	92.5	8.79
8.275	1.0605	80	7.54	105.7	9.96
9.17	1.0675	90	8.43	118.9	11.14
10.11	1.075	100	9.30	132.1	12.29
11.05	1.0825	110	10.16	145.3	13.43
11.91	1.0895	120	11.01	158.6	14.55
12.76	1.0965	130	11.86	171.8	15.67
13.66	1.104	140	12.68	185.0	16.76
14.50	1.111	150	15.50	198.2	17.84
15.36	1.1185	160	14.30	211.4	18.90
16.17	1.1255	170	15.10	224.6	19.95
16.97	1.1325	180	15.89	237.9	21.00
17.81	1.140	190	16.67	251.1	22.03
18.63	1.1475	200	17.43	264.3	23.03
19.40	1.1545	210	18.19	277.5	24.04
20.16	1.1615	220	18.94	290.7	25.03
20.91	1.1685	230	19.68	303.9	26.01
21.70	1.176	240	20.41	317.1	26.96
22.48	1.1835	250	21.12	330.4	27.91
23.20	1.1905	260	21.84	343.6	28.86
23.91	1.1975	270	22.55	356.8	29.80
24.67	1.205	280	23.24	370.0	30.71
25.41	1.2125	290	23.92	383.2	31.61
26.10	1.2195	300	24.60	396.4	32.51

五、次氯酸钙漂液吸收槽容积的计算

【公式】

$$V = \frac{QW}{C} \quad (1-9-4)$$

式中 V ——吸收槽有效容积(m^3)

Q ——每次通氯量(t)

W ——每吨氯需有效 CaO(kg)

C ——石灰乳浓度(g/L)

六、漂液吸收槽每日吸收次数的计算

【公式】

$$N = \frac{G}{V} \quad (1-9-5)$$

式中 N —— 吸收次数(次/d)

V —— 每吸收一次漂液量(m^3)

G —— 所需漂液量(m^3/d)

七、由制漂温度的变化计算漂液浓度

【说明】次氯酸钙漂液的制备是由石灰乳吸收 Cl_2 反应而成的。该反应是一放热反应,经试验,1g Cl_2 能使1L 溶液升高0.3℃,因此,已知制漂反应的初始及终了温度,即可求出该漂液的浓度。

【公式】

$$C = \frac{t_2 - t_1}{0.3} \quad (1-9-6)$$

式中 C —— 漂液的浓度(g/L)

t_2 —— 通氯终了漂液温度(℃)($<40^\circ C$)

t_1 —— 石灰乳初始温度(℃)

0.3 —— 常数(L·℃/g)

【例】某制漂吸收槽,石灰乳的温度为25℃,通氯终了温度为38℃,求漂液有效氯浓度。

解: $C = \frac{t_2 - t_1}{0.3} = \frac{38 - 25}{0.3} = 43.3 \text{ (g/L)}$

八、漂液有效氯含量的计算(列线图法)

【说明】漂液有效氯含量与其相对密度、温度和有效氯浓度有关,但按公式计算比较复杂,测定也很麻烦,根据列线图则可依据其中的两项求出另一项数值,见图1-9-1。

【公式】

$$C = a + b\delta^{3.095\delta - 1} \quad (1-9-7)$$

式中 C —— 有效氯浓度(g/L)

δ —— 在16℃时水的相对密度

a, b —— 与温度有关的常数

【例1】当水在26℃(79°F)时的相对密度为1.072时,制成的漂液试样中有效氯的浓度是多少?

解:根据图1-9-1,用虚线连接温度标尺上的26℃(79°F)和 δ 标尺上的1.072,其与 C 标尺的交点即是所要求的有效氯浓度,即为49g/L。

【例2】求21℃(70°F)时含有效氯17

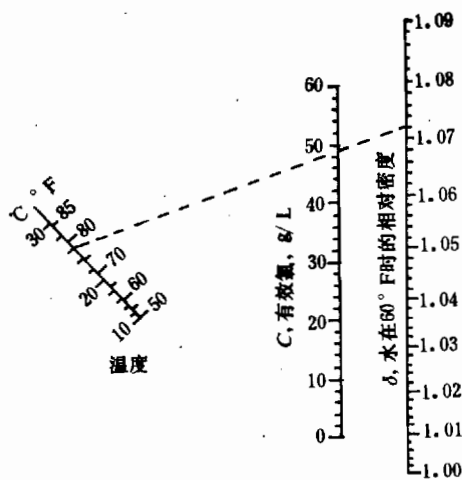


图1-9-1 有效氯浓度列线图

g/L 的漂液的相对密度。

解:用一直线从温度标尺上的21℃(70°F)通过C标尺上的17连至δ标尺上,即可读出所求的相对密度为1.028。

九、次氯酸盐漂液的相对密度,有效氯浓度与温度的关系

【说明】见表1-9-2。

表1-9-2 次氯酸盐漂液的相对密度与有效氯浓度的关系

相对密度	波美度 (°Be')	有效氯浓度(g/L)		
		15℃	20℃	30℃
1.005	0.74	0.62	1.52	4.72
1.010	1.44	4.05	5.13	8.17
1.015	2.14	7.51	8.61	11.61
1.020	2.84	10.85	12.06	14.96
1.025	3.54	14.30	15.40	18.36
1.030	4.22	17.46	18.91	21.67
1.035	4.90	20.72	22.30	24.98
1.040	5.57	24.03	25.63	28.28
1.045	6.24	27.69	29.06	31.68
1.050	6.90	30.85	32.51	35.05
1.055	7.56	34.60	35.96	38.47
1.060	8.20	37.93	39.48	41.92
1.065	8.85	41.18	42.78	45.24
1.070	9.49	44.52	46.15	48.44
1.075	10.11	48.00	49.50	51.83
1.080	10.74	51.21	52.93	55.23
1.085	11.36	54.45	56.38	58.68
1.090	11.97	58.30	59.86	62.13
1.095	12.58	61.32	63.26	65.49
1.100	13.18	64.90	66.71	68.89
1.105	13.78	68.49	70.17	72.28
1.110	14.37	71.85	73.63	75.80
1.115	14.96	75.14	77.08	79.30
1.120	15.54	78.72	80.51	82.79
1.125	16.11	81.90	83.91	86.16
1.130	16.88	85.40	87.42	89.51
1.135	17.25	88.73	90.86	92.87
1.140	17.81	92.21	94.31	96.34
1.145	18.35	95.45	97.75	99.79
1.150	18.91	98.93	101.20	103.24

第三节 次氯酸盐漂白的工艺计算

一、漂白的有效氯用量(漂率)的计算

【说明】纸浆漂白时,有效氯用量系根据未漂浆的硬度及漂后纸浆的白度、强度要求的指标来确定,有效氯用量确定后,再根据漂液浓度计算漂液的需用量。不同方法测定的纸浆硬度值均可通过试验找出硬度与漂白有效氯之间的关系式,对次氯酸盐一段漂白,其关系式见式1-9-8。

【公式】
$$S = \frac{K \times 0.355}{m} \quad (1-9-8)$$

式中 S ——有效氯用量(对绝干浆)(%)

K ——纸浆高锰酸钾值

m ——校正因数,随制浆方法而异

(一)亚硫酸盐浆漂白有效氯用量的计算

【说明】 计算同式1-9-8。校正因数见表1-9-3。

表1-9-3 亚硫酸盐浆次氯酸盐一段漂白的校正因数

高锰酸钾值	校正因数	有效氯消耗量 (有效氯 g/100g 风干浆)	高锰酸钾值	校正因数	有效氯消耗量 (有效氯 g/100g 风干浆)
1	0.818	0.43	12	0.664	11.21
2	0.810	0.88	22	0.655	11.30
3	0.802	1.33	23	0.648	12.30
4	0.794	1.79	24	0.641	13.27
5	0.786	2.26	25	0.634	14.00
6	0.778	2.74	26	0.626	14.73
7	0.77	3.23	27	0.618	15.50
8	0.762	3.72	28	0.611	16.25
9	0.755	4.24	29	0.604	17.05
10	0.747	4.75	30	0.596	17.85
11	0.739	5.29	31	0.589	18.70
12	0.732	5.82	32	0.582	19.50
13	0.724	6.39	33	0.574	20.40
14	0.716	6.94	34	0.567	21.25
15	0.709	7.52	35	0.560	22.15
16	0.702	8.10	36	0.552	23.10
17	0.694	8.70	37	0.545	24.10
18	0.684	9.30	38	0.538	25.05
19	0.679	9.94	39	0.531	26.05
20	0.672	10.56	40	0.522	27.20

(二)硫酸盐法稻草浆用氯量的计算

【说明】 硫酸盐法稻草浆高锰酸钾值与漂白用氯量的关系可用下式计算。

【公式】

$$S = 0.668K - 1.012 \quad (1-9-9)$$

式中符号及含义同式1-9-8。

【例】 当 $K = 10$ 时,耗氯量为:

$$\begin{aligned} S &= 0.668 \times 10 - 1.012 \\ &= 5.668 \end{aligned}$$

(三)硫酸盐法蔗渣浆用氯量的计算

【说明】 硫酸盐法蔗渣浆生产文化用纸时,用氯量的计算如下。

【公式】 见表1-9-4。

表1-9-4 不同高锰酸钾值下的用氯量计算

高锰酸钾值 K	漂率计算公式(%)
6.0~8.5	$0.375K$
8.6~9.0	$0.4K$
9.1~10.5	$0.45K$
10.6~12	$0.5K$

(四) 硫酸盐苇浆的漂白用氯量计算

【说明】 对芦苇硫酸盐纸浆、木素、卡伯值和漂率三者之间互为直线关系。

【公式】

$$S = 0.34N \quad (1-9-10)$$

$$L = 0.29S \quad (1-9-11)$$

式中 S —— 用氯量(%)

N —— 纸浆卡伯值

L —— 纸浆木素含量(%)

【例】 某硫酸盐苇浆蒸煮用碱量为14%(Na_2O 计), 蒸煮后经测定其卡伯值为19.2, 求漂率及木素含量。

解: $S = 0.34N = 0.34 \times 19.2 = 6.52\%$

$L = 0.29S = 0.29 \times 6.52 = 1.89\%$

(五) 硫酸盐竹浆漂白用氯量计算

【说明】 漂白硫酸盐竹浆, 当高锰酸钾值 K 在9~12之间时, 用氯量可用下式计算。

【公式】

$$S = \frac{K + 1.28}{2.8} \quad (1-9-12)$$

式中符号含义及单位同上

【例】 当 $K = 10$ 时, 则用氯量为:

$$S = \frac{10 + 1.28}{2.8} = 4.029\%$$

(六) 碱法稻草浆用氯量计算

【说明】 当高锰酸钾值在6~10之间时, 漂白用氯量可用式1-9-13计算; 通常情况下, 可用式1-9-14计算。

【公式】

$$S = \frac{K - 2.25}{1.53} \quad (1-9-13)$$

$$S = \frac{K \times 0.401}{m'} \quad (1-9-14)$$

式中 S, K —— 同上

m' —— 校正因数, 见表1-9-5和图1-9-2

表1-9-5 碱法稻草浆漂率计算校正因数

高锰酸钾值	5	6	7	8	9	10	11
校正系数	0.686	0.679	0.672	0.665	0.658	0.651	0.645
有效氯(%)	2.92	3.54	4.17	4.82	5.48	6.16	6.84

(七) 漂粉精母液漂白的漂率计算

【说明】 漂粉精母液是化工厂排放的废液, 其主要成分是次氯酸钙、氯化钙等, 用于纸浆漂白效果较理想。当纸浆硬度在11~

18 (KMnO₄值)时,漂率的计算可用式1-9-15。

【公式】

$$S = 0.129K + 1.127 \quad (1-9-15)$$

式中符号含义及单位同上

(八)木浆漂白的有效氯用量

【说明】 几种木浆一段次氯酸盐漂白

时的有效氯需要量见表1-9-6。

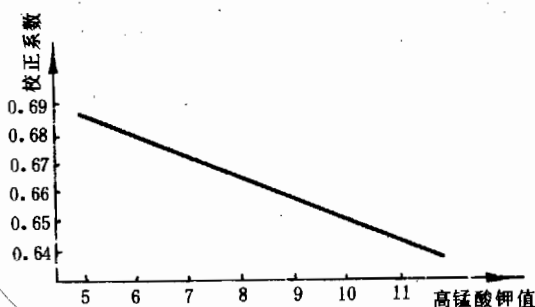


图1-9-2 校正因数-高锰酸钾值关系图

表1-9-6

木浆漂白用氯量

序 号	浆 种	有效氯需要量(‰)(对浆)
1	易漂亚硫酸盐木浆	3~5
2	普通亚硫酸盐木浆	5~7
3	阔叶木碱法浆	4~6
4	易漂硫酸盐木浆	5~8

二、漂液稀释用水量的计算

【公式】

$$W = G \frac{C_1 - C_0}{C_0} \quad (1-9-16)$$

式中 W —— 稀释用水量(m³)

G —— 药液量(m³)

C_1 —— 稀释前药液浓度(g/L)

C_0 —— 稀释后药液浓度(g/L)

【例】 送入漂白工段的浓碱为2m³/d,浓度为400g/L,需稀释至100g/L,问加水多少?

解:
$$W = G \frac{C_1 - C_0}{C_0}$$

$$= 2 \times \frac{400 - 100}{100} = 6(\text{m}^3)$$

三、漂白浆料稀释用水量的计算

【公式】

$$W = Q \left(\frac{C_1 - C_0}{C_0 C_1} \right) \quad (1-9-17)$$

式中 W —— 稀释用水量(m³)

Q —— 绝干纤维量(t)

C_0 —— 稀释后纸浆浓度(%)

C_1 —— 稀释前纸浆浓度(%)

【例】 某厂每小时生产绝干浆1000kg,由漂白塔送往真空洗浆机,漂白塔浓度为10%,送至真空洗浆机浓度为2%,问加入水量为多少?

解:
$$W = Q \frac{C_1 - C_0}{C_0 C_1}$$

$$= 1 \times \frac{(10\% - 2\%)}{10\% \times 2\%}$$

$$= 40(\text{m}^3)$$

四、间歇漂白机装浆量计算

【公式】

$$Q = VC \times 1000 \quad (1-9-18)$$

式中 Q ——装浆量(kg 绝干浆)

V ——装浆体积(m^3)

C ——浆浓(%)

【例】某 30m^3 漂白机,装浆浓度为4%,则装浆量为:

$$Q = VC \times 1000 = 30 \times 4\% \times 1000$$

$$= 1200(\text{kg})$$

五、漂白所需有效氯浓度的计算

【公式】

$$C = \frac{SC_1}{100 - C_1} \quad (1-9-19)$$

式中 C ——有效氯浓度(%)

S ——漂白用氯量(漂率)(%)

C_1 ——漂白浆浓(%)

【例】用氯量为4%,漂白浆浓由6%提高到18%,试求有效氯浓度的变化。

解:浆浓为6%时:

$$C = \frac{SC_1}{100 - C_1} = \frac{4 \times 6}{100 - 6} = 0.25\%$$

浆浓为18%时:

$$C = \frac{SC_1}{100 - C_1} = \frac{4 \times 18}{100 - 18} = 0.88\%$$

即有效氯浓度由0.25%提高到0.88%。

六、漂液加入量的计算

【说明】 确切掌握次氯酸盐漂液用量,是漂白操作中极其重要的一个方面。漂液量不足,不能使纸浆全部达到要求白度。而漂液量过多,又可能导致过漂,出现返黄现象及纤维降解等。

(一)体积计量法

【公式】

$$V = \frac{100V_1C_1S}{C} \quad (1-9-20)$$

式中 V ——漂液加用量(m^3)

V_1 ——漂池装浆量(m^3)

C_1 —— 装浆浓度(%)

S —— 未漂浆漂率(%)

C —— 加入漂液浓度(g 有效氯/L)

【例1】 设漂白机容积为 35m^3 , 每次装入浓度为5%的麦草浆 30m^3 。未漂麦草浆的漂率为4%, 次氯酸盐漂液浓度为 20g 有效氯/L, 试求应加入漂液量(麦草浆密度按 $1\text{t}/\text{m}^3$ 考虑)?

$$\begin{aligned}\text{解: } V &= \frac{100V_1C_1S}{C} = \frac{1000 \times 30 \times 5\% \times 4\%}{20} \\ &= 3(\text{m}^3)\end{aligned}$$

【例2】 某厂漂白机装浆容积为 50m^3 , 漂白用氯量为4%, 漂白浓度为6%, 漂液有效氯含量为 $43.3\text{g}/\text{L}$, 求漂液需用量。

$$\begin{aligned}\text{解: } V &= \frac{1000V_1C_1S}{C} \\ &= \frac{1000 \times 50 \times 6\% \times 4\%}{43.3} \\ &= 2.77(\text{m}^3)\end{aligned}$$

(二)单位时间体积计算法

【公式】

$$Q = \frac{1000GS}{C\mu} = \frac{GS}{A} \times 1000 \quad (1-9-21)$$

式中 Q —— 所需漂液量(m^3/h)

S —— 用氯量(%)

G —— 处理绝干浆量(t/h)

C —— 漂液浓度(g/L)

μ —— 漂白剂折算有效氯值, 见表1-9-8

A —— 漂液有效氯浓度(g/L)

$$A = C\mu \quad (1-9-22)$$

【例】 某厂每小时漂白浆料 1t (绝干), 漂率为4%, 用 $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 漂白, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 中含有效氯 $20\text{g}/\text{L}$, 问需要多少 $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 漂液?

$$\begin{aligned}\text{解: } Q &= \frac{GS}{A} \times 1000 = \frac{1 \times 4\%}{20} \times 1000 \\ &= 2(\text{m}^3/\text{h})\end{aligned}$$

(注: 因题中已知有效氯含量, 故不必再乘折算有效氯值 μ)

七、纸浆洗涤用水量

【说明】 漂白纸浆洗涤用水量一般按定额。对贝克曼式漂白机一般用水 $70 \sim 80\text{m}^3/\text{t}$ 风干浆。

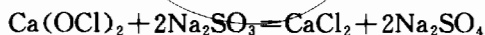
八、漂白脱氯剂需用量的计算

【说明】 在漂白过程中, 一般纸厂为了加速洗涤、缩短时间、节约用水量, 常使用脱氯剂来脱除残氯。脱氯剂通常采用 Na_2SO_3 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 两种, 纯度较低的 Na_2SO_3 或 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 中, 一般包含有两种成分, 即一种脱氯剂中同时有两种成分起脱氯作用。

脱氯剂的用量一定要适宜,用量过低,脱氯反应慢,残氯脱不净,起不到脱氯的效果;用量过高,不仅造成浪费,而且会产生一些副作用。尤其 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 作脱氯剂,由于反应生成的 HCl 不仅会使纤维素发生水解,而且腐蚀设备、管道,同时, HCl 与 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$ 作用还会有硫(S)析出,影响浆的白度。脱氯剂的用量可用理论方法计算,但由于脱氯反应速度受脱氯剂在纸浆中的浓度等因素影响,因而实际添加量比理论计算值要高。

(一) 纯亚硫酸钠作漂白脱氯剂用量的计算

【说明】 根据亚硫酸钠(Na_2SO_3)脱除漂液中有有效氯 $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 的反应:



1mol $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 能反应掉 2mol Na_2SO_3 , 而 1mol $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 的有效氯含量相当于 1mol 的 Cl_2 , 所以, 相当于 1mol 的 Cl_2 与 2mol 的 Na_2SO_3 正好相互作用, 即 70.92g Cl_2 需作用 252g Na_2SO_3 。

【公式】

$$W = \frac{2G_1W_1}{G_2p} = \frac{2 \times 126W_1}{70.92p} = 3.55 \frac{W_1}{p} \quad (1-9-23)$$

式中 W —— 亚硫酸钠用量(kg)

W_1 —— 漂白后浆料中残氯(即有效氯)含量(kg)

$$W_1 = \frac{CV \times 1000}{1000} = CV \quad (1-9-24)$$

C —— 漂后残氯浓度(g/L)

V —— 漂池容积(m^3)

G_1 —— 亚硫酸钠的摩尔质量, 126g

G_2 —— Cl_2 的摩尔质量, 70.92g

p —— 亚硫酸钠的纯度(%)

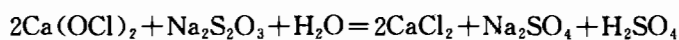
【例1】 某厂一50 m^3 漂池, 漂后残氯为0.04g/L, 试求需用95%的 Na_2SO_3 脱氯剂多少千克?

解: $W_1 = CV = 0.04 \times 50 = 2 \text{ (kg)}$

$$W = 3.55 \frac{W_1}{p} = 3.55 \times \frac{2}{95\%} = 7.47 \text{ (kg)}$$

(二) 纯硫代硫酸钠作漂白脱氯剂用量的计算

【说明】 根据反应:



可看出, 反应相当于 2mol 的 Cl_2 (有效氯) 与 1mol 的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 正好相互作用。即 141.84g 有效氯作用掉 158g 硫代硫酸钠。

【公式】

$$W = \frac{G_1W_1}{2G_2p} = \frac{158W_1}{141.84p} = 1.114 \frac{W_1}{p} \quad (1-9-25)$$

式中 W —— $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的用量(kg)

W_1 —— 漂白后浆料中残氯(即有效氯)量(kg), 计算同式1-9-24

G_1 —— $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的摩尔质量(158g)

G_2 —— Cl_2 的摩尔质量(70.92g)

p —— $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的纯度(%)

【例2】某厂一50m³的漂池,漂后残氯为0.04g/L,求纯度为90%的Na₂S₂O₃脱氯剂需用量?

解: $W_1 = CV = 0.04 \times 50 = 2 \text{ (kg)}$

$$W = 1.114 \frac{W_1}{p} = 1.114 \times \frac{2}{90\%} = 2.76 \text{ (kg)}$$

(三)亚硫酸钠和硫代硫酸钠混合作漂白脱氯剂用量的计算

【说明】在采用低纯度的亚硫酸钠或硫代硫酸钠作脱氯剂时,一般药品中均不同程度地彼此包含。而两者又都具有脱氯剂的作用,因此,在计算其用量时,就要分别计算,否则,只按一种计算,而忽略了另一种的脱氯作用,造成脱氯剂过量,而给洗涤带来不良影响。

根据式1-9-23和式1-9-25,设脱氯剂中亚硫酸钠含量为 p_1 (%),硫代硫酸钠含量为 p_2 (%),亚硫酸钠作用掉的有效氯为 X (kg)(也可假设硫代硫酸钠作用掉的有效氯为 X kg),则硫代硫酸钠作用掉的有效氯为 $(W_1 - X)$ (kg),由此可得出下列两组计算公式。

【公式】令亚硫酸钠作用掉的有效氯量为 X kg:

$$\begin{cases} p_1 W = 3.55X \\ p_2 W = 1.114(W_1 - X) \end{cases} \quad (1-9-26)$$

$$\text{解之得: } W = \frac{1.114W_1}{0.3138p_1 + p_2} \quad (1-9-27)$$

式中 W —— 混合脱氯剂用量(kg)

W_1 —— 漂后残氯量(kg),计算见式1-9-24

p_1, p_2 —— 分别为脱氯剂中亚硫酸钠及硫代硫酸钠含量(%)

【例3】某厂一50m³漂池,漂后残氯含量为0.04g/L,现用Na₂SO₃作脱氯剂,其纯度为80%,另含有Na₂S₂O₃10%,求漂白后脱氯剂的用量?

解: $p_1 = 80\% \quad p_2 = 10\%$

$$W_1 = CV = 0.04 \times 50 = 2 \text{ (kg)}$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{1.114W_1}{0.3138p_1 + p_2} \\ &= \frac{1.114 \times 2}{0.3138 \times 80\% + 10\%} \\ &= 6.35 \text{ (kg)} \end{aligned}$$

即混合脱氯剂的最低添加量为6.35kg

九、次氯酸盐漂自用汽量的计算

(一)间歇式漂白机用汽量的计算及实例

1. 加热绝干纤维耗热量 q_1

【公式】

$$q_1 = VCS_1(t_2 - t_1) \quad (\text{kJ}) \quad (1-9-28)$$

式中 V —— 漂白机容积(L)

C —— 漂白浓度(%)

S_1 —— 绝干浆的比热[1.3188kJ/(kg·°C)]

t_1 —— 进入漂白的浆料温度(°C)

t_2 —— 漂白温度(°C)

2. 加热浆料中的水所耗热量 q_2

【公式】

$$q_2 = V(1 - C)S_2(t_2 - t_1) \quad (1-9-29)$$

式中 S_2 —— 水的比热 $[4.1868 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})]$

其它同上

3. 管道中热损失 q_3

【公式】

$$q_3 = (q_1 + q_2)\eta \quad (\text{kJ}) \quad (1-9-30)$$

式中 η —— 热损失率(一般按 25% 计)

其它同上

4. 总耗热量 Q

【公式】

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 \quad (\text{kJ}) \quad (1-9-31)$$

式中符号含义及单位均同上

5. 蒸汽耗用量 D

【公式】

$$D = \frac{Q}{i - i'} = \frac{Q}{i - s_2 t_2} \quad (\text{kg}) \quad (1-9-32)$$

式中 i —— 蒸汽热焓 (kJ/kg)

i' —— 漂白温度下水的热焓 (kJ/kg)

其它同上

6. 每吨绝干浆漂白用汽量 D'

【公式】

$$D' = \frac{D}{R} \quad (\text{kg}) \quad (1-9-33)$$

式中 R —— 每台漂白机绝干浆产量 $(\text{kg}/\text{台})$

7. 间歇漂白机用汽量计算实例

【例 1】某 25m^3 漂白机漂白浓度为 6%，漂白时从 15°C 加热到 40°C ，蒸汽热焓为 $2568.6 \text{ kJ}/\text{kg}$ ，问漂白机加热需多少蒸汽？每 kg 绝干浆需蒸汽量为多少？

解：

$$\begin{aligned} q_1 &= VCS_1(t_2 - t_1) \\ &= 25 \times 6\% \times 1.3188(40 - 15) \times 1000 \\ &= 49456.6 \text{ (kJ)} \\ q_2 &= V(1 - C)S_2(t_2 - t_1) \\ &= 25(1 - 6\%) \times 4.1868(40 - 15) \times 1000 \\ &= 2459745 \text{ (kJ)} \\ q_3 &= (q_1 + q_2)\eta \\ &= (49456.6 + 2459745) \times 25\% \\ &= 627287.8 \text{ (kJ)} \\ Q &= q_1 + q_2 + q_3 \\ &= 3136501.9 \text{ (kJ)} \\ D &= \frac{Q}{i - s_2 t_2} = \frac{3136501.9}{2568.6 - 4.1868 \times 40} \end{aligned}$$

$$=1306(\text{kg})=1.306(\text{t})$$

$$D' = \frac{D}{R}$$

$$= \frac{1306}{25 \times 6\% \times 1000}$$

$$=0.87(\text{kg/kg 绝干浆})$$

(二)连续式漂白用汽量的计算

【公式】

$$D = \frac{[VCS_1 + V(1-C)S_2](t_2 - t_1)}{i - S_2t_2} \quad (1-9-34)$$

式中 D —— 用汽量(kg/h)

V —— 每小时装浆量(m^3/h)

其它同上

【例 2】某厂用连续漂白塔进行漂白,每小时供浆量为 25m^3 ,漂白浓度为 12.5% ,温度由 15°C 加热至 40°C ,漂白塔体积为 25m^3 ,问每 kg 绝干浆需蒸汽量多少?(其它已知条件同例 1)

$$\begin{aligned} \text{解: } D &= \frac{[VCS_1 + V(1-C)S_2](t_2 - t_1)}{i - S_2T_2} \\ &= \frac{[25 \times 12.5\% \times 1.3188 + 25(1 - 12.5\%) \times 4.1868](40 - 15)}{2568.6 - 4.1868 \times 40} \times 1000 \\ &= \frac{571.48}{2401.13} \\ &= 996(\text{kg/h}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D' &= \frac{D}{R} = \frac{996}{25 \times 12.5\% \times 1000} \\ &= 0.3187[\text{kg}/(\text{kg 绝干浆} \cdot \text{h})] \end{aligned}$$

(三)液氯气化用汽量计算

1. 液氯气化耗热量计算

【公式】

$$Q = Gr + G(t_1 - t_2)C \quad (1-9-35)$$

式中 Q —— 液氯气化需热量(kJ/h)

G —— 液氯量(kg/h)

r —— 液氯气化潜热,取 288.1kJ/kg

t_1 —— 氯气的终点温度($^\circ\text{C}$)

t_2 —— 液氯气化时温度($^\circ\text{C}$)

C —— 氯气比热,取 $0.5192[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})]$

2. 用汽量计算

【公式】

$$W = \frac{Q}{i - Ct_3} = \frac{1}{1 - P} \quad (1-9-36)$$

式中 W —— 耗汽量(kg/h)

Q —— 耗热量(kJ/h)

i —— 蒸汽热焓(kJ/kg)

C —— 水的比热, 取 $4.1868\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

t_3 —— 排出蒸汽的凝结水温度($^\circ\text{C}$)

P —— 热损失, 一般取 10%

十、漂白所需动力计算

【公式】

$$N = \frac{MHC}{Q} \quad (1-9-37)$$

式中 N —— 漂白耗电量($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 风干浆)

M —— 电动机容量(kW)

H —— 电动机每日净运转时间(h)

C —— 电机负荷系数, 一般取 $0.6 \sim 0.8$

Q —— 日产风干浆量(t/d)

第四节 C-E-H 三段漂白工艺计算

一、氯化的工艺计算

(一) 氯气的性质

【说明】 氯气的有关性质如下:

条件: 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$

浓度: $3.214\text{g}/\text{L}$

相对密度: 2.491 (与空气比)

液化条件: $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 、 33.6°C 或 $6.706 \times 10^5 \text{Pa}$ 、 20°C

纯度: $\geq 99.5\%$

水分: $\leq 0.06\%$ (重量百分数)

1mol 液氯蒸发需要热量: $18.63\text{kJ}/\text{mol}$

1kg 液氯气化需要热量: $262.51\text{kJ}/\text{kg}$

(二) 纸浆氯化用氯量计算

1. 计算法

【公式】

$$Q = \frac{GK}{p} \times 1000 \quad (1-9-38)$$

式中 Q —— 氯化用氯量(kg/h)

G —— 绝干浆量(t/h)

K —— 漂率($\%$)

p —— 氯的纯度($\%$)

【例】 某厂每小时氯化硫酸盐木浆 1t (绝干), 用氯量为 5% , 氯的纯度为 99.5% , 求氯的用量。

解: $Q = \frac{GK}{p} \times 1000$

$$= \frac{1 \times 5\%}{0.995} \times 1000 = 50.25(\text{kg})$$

2. 列线图法

【说明】 参见图 1-9-3

(三) 氯化塔的计算

1. 低浓氯化塔容积的计算

【公式】

$$V = \frac{QT}{C}$$

(1-9-39)

式中 V —— 有效容积(m^3)

Q —— 绝干浆量(t/h)

T —— 氯化时间(h)

C —— 氯化纸浆浓度(%)

2. 氯化塔的尺寸设计计算

【说明】 一旦氯化时间确定后,就可根据此时间、日产量及设计速度,计算出需要的塔径、塔容积和塔高。

(1) 塔径的计算

【公式】

$$D = \sqrt{\frac{0.06944T}{\pi SC}}$$

(1-9-40)

式中 D —— 塔径(m)

T —— 日产量(t/d)

S —— 设计速度(m/min)

C —— 浆浓(%)

(2) 塔容积的计算

【公式】

$$V = \frac{0.06944TM}{C}$$

(1-9-41)

式中 V —— 塔容积(m^3)

M —— 塔内停留时间(min)

其它同上

(3) 塔高计算

【公式】

$$H = \frac{4V}{\pi D^2}$$

(1-9-42)

式中 H —— 塔高(m)

其它同上

(四) 氯化后产浆量的计算

【说明】 如果用真空洗浆机洗浆,可以从氯化后的洗涤浆料中推算出产浆量。

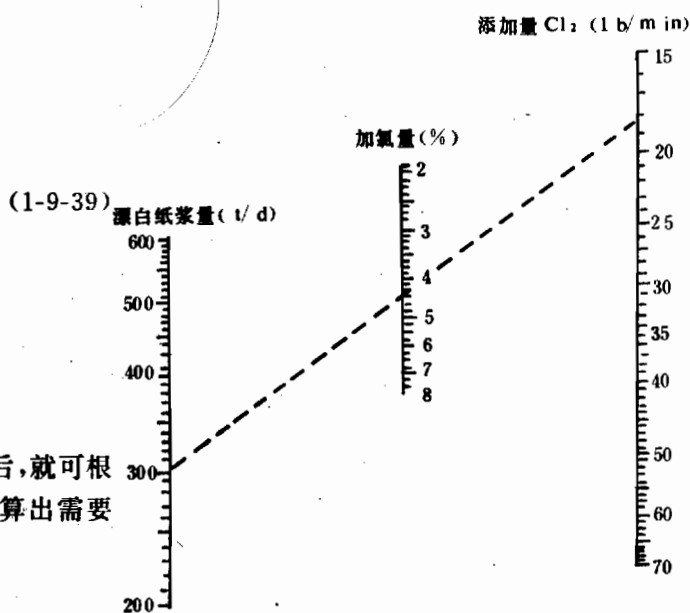


图 1-9-3 氯化时通氯量计算

[添加量(lb/min) = $\frac{\text{漂白纸浆量}(\text{t/d}) \times \text{加入氯量}(\%) }{72}$, 如折算成 kg/min 时,再乘以 $\frac{1}{2.2}$]

【公式】

$$Q = 60SNMC \times 1000 \quad (1-9-43)$$

式中 Q ——产量(kg 绝干浆/h)

S ——滤网有效面积(m^2)

N ——滤鼓转速(r/min)

M ——浆页厚度(m)

C ——浆料浓度(%)

【例】某厂浆料氯化后用 ZNK-12 型真空洗浆机洗涤,其过滤面积为 $10m^2$,洗鼓转速为 $1.8r/min$,浆浓为 13% ,浆层厚度为 $20mm$,求浆料产量。

$$\begin{aligned} \text{解: } Q &= 60 \times 1000SNMC \\ &= 60000 \times 10 \times 1.8 \times 0.02 \times 13\% \\ &= 2808(\text{kg/h}) \end{aligned}$$

二、碱处理的工艺计算

(一)碱处理 NaOH 用量的计算

【公式】

$$V = \frac{GK}{C} \times 1000 \quad (1-9-44)$$

式中 V ——NaOH 加入量(m^3/h)

G ——处理浆量(t/h)

K ——NaOH 需要量(对绝干浆)(%)

C ——NaOH 浓度(g/L)

【附图】碱处理时 NaOH 用量也可采用列线图法直接查取。见图 1-9-4。

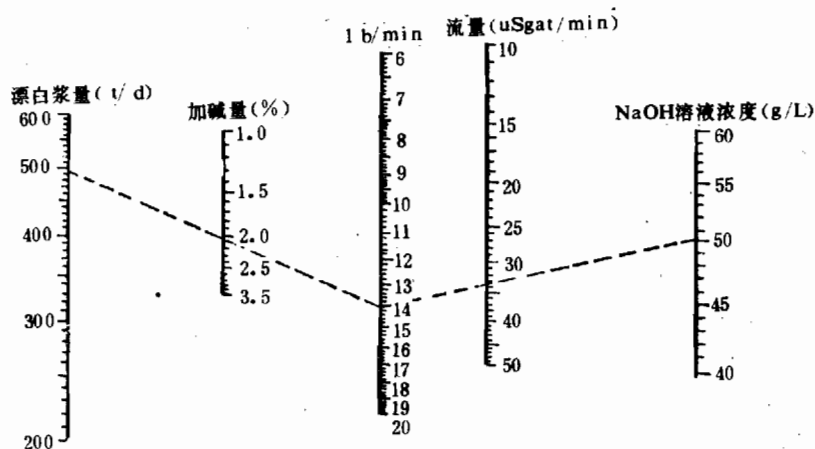


图 1-9-4 碱处理 NaOH 用量

$$[\text{流量}(\text{USgal}/\text{min}) = \frac{\text{漂白浆量}(\text{t}/\text{d}) \times \text{加入碱量}(\%) }{\text{NaOH 浓度}(\text{g}/\text{L})} \quad (\text{如折算成 } m^3/\text{min} \text{ 时,再乘 } 0.0038)]$$

(二)稀释 NaOH 用水量的计算

【公式】

$$N_1V_1 = N_2V_2 \quad (1-9-45)$$

式中 N_1, V_1 ——浓 NaOH 浓度(g/L)及体积(m^3)、

N_2, V_2 —— 需配制 NaOH 浓度(g/L)及体积(m^3)

三、次氯酸盐补充漂白的工艺计算

(一)补充漂白的有效氯用量计算

【说明】 以次氯酸盐作为终段漂白时,为了减少纤维损伤,有效氯用量要低一些,一般在1%以下。

(二)补充漂白次氯酸盐漂液用量的计算

【说明】 参见图 1-9-5。

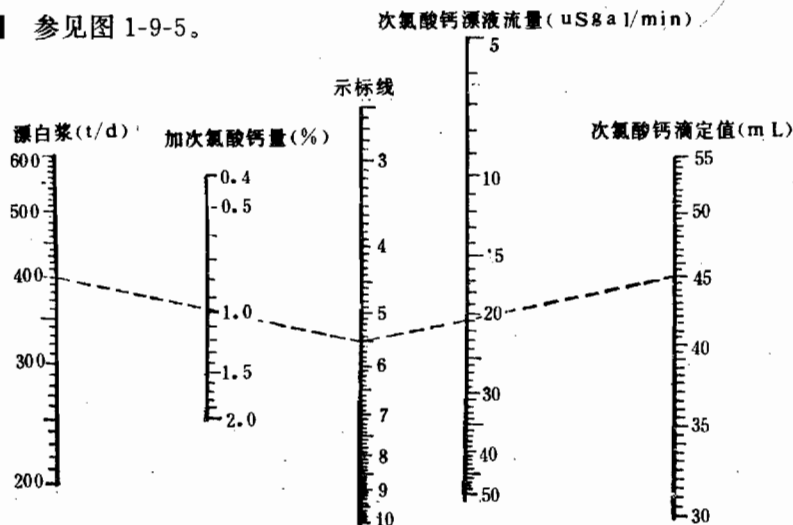


图 1-9-5 次氯酸盐补充漂液用量

$$[(\text{流量 USgal/min}) = \frac{2.35 \times \text{漂白浆 (t/d)} \times \text{加入次氯酸钙量 (\%)}}{\text{次氯酸钙滴定值 (mL)}}] (\text{如折算成 } m^3/h \text{ 时, 将上值再乘 } 0.2271)$$

四、C-E-H 三段漂白工艺计算实例

【例】 已知三段漂白中每小时处理 $70m^3$ 浓度为 3% 的蔗渣浆料,氯化用有效氯量为 2%,碱处理用碱量为 1.5%,次氯酸盐漂液有效氯量 2%,已知浓碱浓度 400g/L,现碱处理需配制浓度为 100g/L 的碱液,漂液有效氯浓度 25g/L,问:①每小时需通多少氯? ②碱液消耗多少? ③配碱时加多少水? ④漂液消耗多少?

解:①每小时处理的绝干浆料 G :

$$G = 70 \times 3\% = 2.1(t/h)$$

氯化用氯量 Q (按 100% 纯度计)

$$Q = \frac{GK}{P} \times 1000 = \frac{2.1 \times 2\%}{100\%} = 42(kg/h)$$

②碱液用量 V (按 1000g/L 浓度计)

$$V = \frac{GK}{C} \times 1000 = \frac{2.1 \times 1.5\%}{100} \times 1000 = 0.315(m^3/h)$$

需 400g/L 浓碱液 V_1

$$V_1 = \frac{N_2 V_3}{N_1} = \frac{100 \times 0.315}{400} = 0.07875(m^3/h)$$

③需加水量 V_2

$$V_2 = V - V_1 = 0.315 - 0.07875 = 0.2363(m^3/h)$$

④漂液用量 Q'

$$Q' = \frac{GK}{A} \times 1000 = \frac{2.1 \times 2.6\%}{25} \times 1000 = 1.68 (\text{m}^3/\text{h})$$

五、硫酸盐木浆三段漂白的有效氯用量与高锰酸钾值的关系

【说明】硫酸盐木浆经氯化、碱处理和次氯酸盐补充漂白至 69 度白度时，高锰酸钾值(碱处理后)与有效氯的关系见表 1-9-7；三段漂白至规定白度时，碱处理后的纸浆高锰酸钾值与有效氯需要量的关系见图 1-9-6。

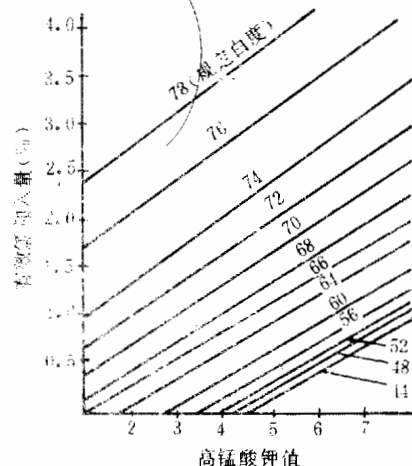


图 1-9-6 高锰酸钾值与有效氯用量的关系

表 1-9-7 有效氯需要量与高锰酸钾值的关系

K 值个位									
有效氯用量(%)									
K 值分位		2	3	4	5	6	7	8	
0	0.127	0.355	0.37	1.34	1.43	1.81	2.20	2.60	
0.1	0.5	0.38	0.73	1.08	1.46	1.85	2.24	2.64	
0.2	0.172	0.39	0.75	1.12	1.50	1.88	2.28	2.6	
0.3	0.195	0.426	0.78	1.16	1.54	1.92	2.32	2.73	
0.4	0.217	0.443	0.82	1.20	1.58	1.96	2.36	2.77	
0.5	0.24	0.48	0.86	1.24	1.62	2.00	2.40	2.81	
0.6	0.263	0.52	0.90	1.27	1.65	2.04	2.44	2.86	
0.7	0.287	0.55	0.93	1.31	1.69	2.08	2.48	2.90	
0.8	0.31	0.59	0.97	1.35	1.73	2.12	2.52	2.94	
0.9	0.33	0.63	1.00	1.39	1.77	2.16	2.56	2.98	

第五节 纸浆连续漂白的工艺计算

一、连续漂白漂液用量的计算

【公式】

$$G = \frac{900KQ}{CT} \quad (1-9-16)$$

式中 G —— 所需漂液量 (m^3/min)

Q —— 处理浆量 (t 风干浆/d)

K —— 所需有效氯(对绝干浆)(%)

C —— 漂液有效氯浓度(kg/m^3)

T —— 每日工作时间(min)

二、连续漂白输浆量的计算

【公式】

$$G = 1000QC \quad (1-9-47)$$

式中 G —— 每小时输送漂白绝干浆(kg/h)

Q —— 每小时输送浆料体积(m^3/h)

C —— 浆浓(%)

【例】 已知某漂白工段每小时输送漂白浆料 70m^3 , 浆浓为 3.5%, 试求漂白浆输送量?

$$\begin{aligned}\text{解: } G &= 1000QC \\ &= 1000 \times 70 \times 3.5\% \\ &= 2450(\text{kg}/\text{h})\end{aligned}$$

第六节 氧化性漂白剂的有效氯含量计算

【说明】 氧化性漂白剂中常用的是氯或氯的化合物, 这些物质中都包含有“有效氯”, 漂白剂中的有效氯是指能和浆中木素或有色物质起反应的氧化容量(即以氧表示漂白剂的氧化能力), 此容量在实验室一般用碘量法测定。通常, 如果 1mol 的氯, 能游离出 1mol 的碘, 即表明存在 100% 的有效氯。常用的几种漂白剂有效氯的含量见表 1-9-8。

【公式】

$$A.C = \frac{n_{I_2} \times 71}{nM_x} \times 100\% \quad (1-9-48)$$

式中 $A.C$ —— 氧化性漂白剂的有效氯含量(%)

n_{I_2} —— 测定反应生成的碘的摩尔数

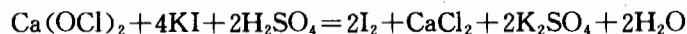
71 —— 氯气的摩尔质量

n —— 漂白剂参加反应的摩尔数

M_x —— 漂白剂的摩尔质量

【例 1】 求 $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 的有效氯含量。

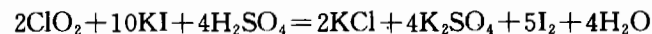
解: 根据反应:



$$\begin{aligned}\text{得: } A.C &= \frac{n_{I_2} \times 71}{nM_{\text{Ca}(\text{OCl})_2}} = \frac{2 \times 71}{1 \times 143} \times 100\% \\ &= 99.3\%\end{aligned}$$

【例 2】 求 ClO_2 的有效氯含量

解: 根据测定反应:



$$\text{得: } A.C = \frac{n_{I_2} \times 71}{nM_{\text{ClO}_2}} = \frac{5 \times 71}{2 \times 67.5} \times 100\% = 263\%$$

表 1-9-8

常用漂白剂有效氯与有效氧含量

氧化性漂白剂(kg)	有效氯含量(A.C)(kg)		有效氧(A.O)(kg)	
Ca(OCl) ₂	0.99	(99%)	0.22	(22%)
NaClO	0.93	(93%)	0.21	(21%)
NaClO ₂	1.57	(157%)	0.35	(35%)
ClO ₂	2.63	(263%)	0.59	(59%)
Na ₂ O ₂	0.91	(91%)	0.20	(20%)
H ₂ O ₂	2.09	(209%)	0.47	(47%)
KMnO ₄	1.11	(111%)	0.25	(25%)

注:有效氧的计算同有效氯。

第七节 ClO₂ 漂白的工艺计算

一、不同温度下 ClO₂ 分压与溶解度的关系

【说明】 不同温度下 ClO₂ 分压与溶解度的关系见图 1-9-7。

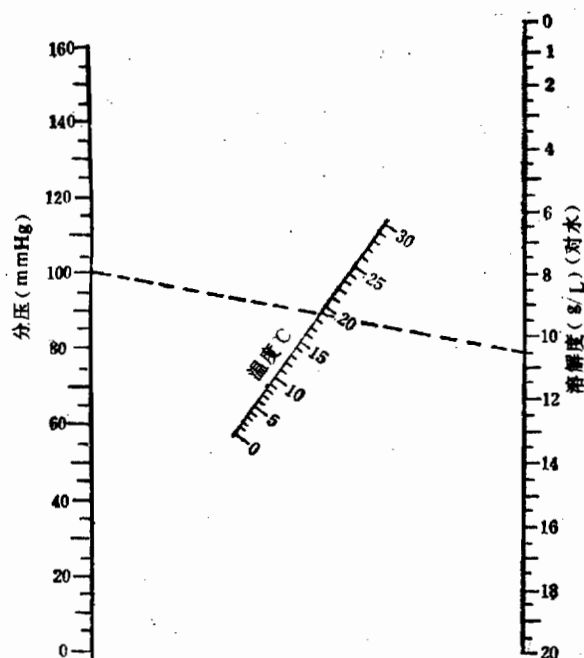


图 1-9-7 不同温度下二氧化氯分压与溶解度的关系

二、二氧化氯的有效氯含量的计算

【说明】 见本章第六节例 2。

第八节 纸浆白度及返黄值的计算

一、纸浆白度的计算

【公式】

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (1-9-49)$$

式中 R_{∞} —— 纸浆白度(对光的反射率)

K —— 纸浆对一定波长的光的吸收系数

S —— 光的散射系数

二、纸浆返黄值的表示和计算

(一) 白度差法

【说明】 在老化过程中纸浆白度的损失可以简单地用返黄前后白度值的差数来表示。

【公式】

$$D = R_{\infty_1} - R_{\infty_2} \quad (1-9-50)$$

式中 D —— 纸浆返黄值(白度差)

R_{∞_1} —— 返黄前白度值

R_{∞_2} —— 返黄后白度值

【例 1】 某种漂白浆返黄前白度为 80%，返黄后白度为 77%，则其返黄值为：

$$D = R_{\infty_1} - R_{\infty_2} = 80 - 77 = 3(\%)$$

(二) 白度变化率法

【说明】 纸浆返黄值也可用返黄前后白度的变化率来表示。

【公式】

$$M = \frac{R_{\infty_1} - R_{\infty_2}}{R_{\infty_1}} \times 100\% \quad (1-9-51)$$

式中 M —— 返黄值(白度变化率)

其它同上

【例 2】 在例 1 中的返黄值为：

$$M = \frac{R_{\infty_1} - R_{\infty_2}}{R_{\infty_1}} \times 100\% = \frac{80 - 77}{80} \times 100\% = 3.75\%$$

(三) P·C 值(价)法

【说明】 使用白度降低或百分数表示纸浆返黄的程度虽然简单，但不能表明在返黄过程中有色物质产生的多少，这是因为浆料白度高的时候，数量相同的有色物所引起的白度降低要多。例如白度从 80% 降低到 77%，3 度(3%)降低所产生的有色物质却高于白度从 92% 降低到 87% 时 5 度(5%)降低所产生的有色物质。由于 K/S 与纸浆中有色物质的数量有直接的关系，所以采用纸浆老化前后 K/S 的差值说明返黄的程度比较真实，通常以 P·C 值表示。

【公式】

$$P \cdot C = \left[\left(\frac{K}{S} \right)_2 - \left(\frac{K}{S} \right)_1 \right] \times 100\% \quad (1-9-52)$$

$$\text{或 } P \cdot C = \left[\frac{(1 - R_{\infty_2})^2}{2R_{\infty_2}} - \frac{(1 - R_{\infty_1})^2}{2R_{\infty_1}} \right] \times 100\% \quad (1-9-53)$$

式中 K —— 纸浆对光的吸收系数

S —— 纸浆对光的散射系数

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}}$$

R_{∞_1} —— 纸浆老化前白度

R_{∞_2} —— 纸浆老化后白度

【例 3】 分别计算纸浆白度由 80% 降低到 77% 和同由 92% 降低到 87% 时的返黄 $P \cdot C$ 价。

$$\text{解: } P \cdot C = \left[\frac{(1 - 0.77)^2}{2 \times 0.77} - \frac{(1 - 0.8)^2}{2 \times 0.8} \right] \times 100\% = 0.935$$

$$P \cdot C' = \left[\frac{(1 - 0.87)^2}{2 \times 0.87} - \frac{(1 - 0.92)^2}{2 \times 0.92} \right] \times 100\% = 0.623$$

第九节 漂白设备的计算

一、连续漂白设备的生产能力计算

【公式】

$$G = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{h}{t} C \quad (1-9-54)$$

式中 G —— 生产能力(t 风干浆/h)

D —— 漂白设备(漂白塔、碱处理塔、氯化塔等)内径(m)

h —— 设备(塔)高度(m)

t —— 浆料在设备内停留时间(h)

C —— 浆料浓度(t 风干浆/m³)

二、漂白设备的有效容积计算

【公式】

$$V = \frac{Gt}{C} \quad (1-9-55)$$

式中符号含义及单位同上

第十章 黑液的回收工艺与设备计算

第一节 黑液的组成及性质计算

一、不同温度下黑液波美度的计算

【说明】 不同温度下黑液波美度与标准温度(15℃)下波美度的关系如下。

【公式】

$$^{\circ}\text{Bé}(t) = ^{\circ}\text{Bé}(15) - 0.052(t - 15) \quad (1-10-1)$$

式中 $^{\circ}\text{Bé}(t)$ ——温度 t 时的波美度

$^{\circ}\text{Bé}(15)$ ——15℃时的波美度

t ——测量时温度(℃)

二、黑液相对密度与波美度的关系

【公式】

$$d = \frac{144.3}{144.3 - ^{\circ}\text{Bé}(15)} \quad (1-10-2)$$

式中 d ——黑液的相对密度

$^{\circ}\text{Bé}(15)$ ——同上

三、不同原料制浆黑液波美度与黑液固形物浓度之间的关系

(一)部分木材、竹浆、棉秆及部分草类

【公式】

$$C = 1.51^{\circ}\text{Bé}(15) - 0.9 \quad (1-10-3)$$

式中 C ——黑液总固形物的百分浓度(%)

$^{\circ}\text{Bé}(15)$ ——黑液 15℃时的波美度

(二)蔗渣及芒秆

【公式】

$$C = 1.51^{\circ}\text{Bé}(15) - 0.81 \quad (1-10-4)$$

式中符号含义及单位同上

(三)麦草

【公式】

$$C = 1.46^{\circ}\text{Bé}(15) - 1.85 \quad (1-10-5)$$

式中符号含义及单位同前

(四)红松

【公式】

$$C = 1.56^\circ\text{Bé}(15) - 0.57 \quad (1-10-6)$$

式中符号含义及单位同上

四、黑液密度与固形物含量的关系

(一)相对密度与固形物含量的关系

【公式】

$$\rho = 1 + \frac{0.473a}{1000} \quad (1-10-7)$$

式中 ρ —— 黑液的相对密度

a —— 黑液的固形物浓度(kg/m^3)

【注意】 该式得出的数值比较粗略,若要准确,必须实测出不同黑液的相对密度和固形物含量。

(二)密度与固形物含量的关系

【公式】

$$\gamma = 1000 + 0.5a \quad (1-10-8)$$

$$\text{或 } \gamma = \frac{1000}{1 - 0.5 \times \frac{C}{100}} \quad (1-10-9)$$

式中 γ —— 黑液的密度(kg/m^3)

a —— 黑液的固形物含量(kg/m^3)

C —— 黑液的固形物含量(%)

五、稀浓黑液混合时浓黑液量的计算

【公式】

$$G_1 = G \frac{C - C_H}{C_K - C} \quad (1-10-10)$$

式中 G_1 —— 浓黑液量(kg/h)

G —— 稀黑液量(kg/h)

C_K —— 浓黑液固形物含量(%)

C_H —— 稀黑液固形物含量(%)

C —— 混合后黑液固形物含量(%)

六、黑液的比热计算

【说明】 指每 kg 黑液温度升高(或降低) 1°C 所吸收(或放出)的热量。

(一)一般计算法

【公式】

$$C_p = 4186.8 - (1 - C_n)C \quad (1-10-11)$$

式中 C_p —— 黑液的比热[$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]

4186.8 —— 水的比热[$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]

C_n —— 黑液固形物的比热[$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]

C —— 黑液的固形物含量(%)

(二)近似计算法

【说明】 黑液的比热随黑液中固形物含量增加而下降,在 100°C 范围内,黑液的比热随温度变化很小,可近似计算。

【公式】

$$C_p = 4.1031 - 2.1771C \quad (1-10-12)$$

式中 C_p —— 黑液比热 [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$]

C —— 黑液中固形物重量含量(%)

第二节 黑液的蒸发工艺计算

一、黑液蒸发水量的计算

【公式】

$$W = \rho(1 - \frac{C_1}{C_2}) \quad (1-10-13)$$

式中 W —— 黑液蒸发水量 (kg/m^3 黑液)

ρ —— 黑液的密度 (kg/m^3)

C_1 —— 稀黑液中干固形物含量(%)

C_2 —— 浓黑液中干固形物含量(%)

【例】 某厂碱回收车间蒸发工段采用四效蒸发系统,供料方式为 3-4-2-1,不使用冷凝水之热,蒸发生产能力为 80000kg 黑液/h,黑液从 15% 浓缩到 60% (固形物浓度),各效浓度为:第三效后 17.8% 固形物,第四效后 22.6%,第二效后 31.5%,计算总蒸发水量和各效蒸发水量是多少?

解:①蒸发站蒸发出的总水量 W

$$\begin{aligned} W &= 80000(1 - \frac{15}{60}) \\ &= 60000(\text{kg/h}) \end{aligned}$$

②第三效蒸发水量 W_3

$$\begin{aligned} W_3 &= 80000(1 - \frac{15}{17.8}) \\ &= 12592(\text{kg/h}) \end{aligned}$$

③进入第四效的黑液量 G_4

$$G_4 = 80000 - 12592 = 67408(\text{kg/h})$$

第四效蒸发出的水量 W_4

$$\begin{aligned} W_4 &= 67408(1 - \frac{17.8}{22.6}) \\ &= 14317(\text{kg/h}) \end{aligned}$$

④进入第二效的黑液量 G_2

$$G_2 = 67408 - 14317 = 53091(\text{kg/h})$$

第二效蒸发出的水量 W_2

$$W_2 = 53091 \left(1 - \frac{22.6}{31.5}\right) \\ = 14998 (\text{kg/h})$$

⑤进入第一效的黑液量 G_1

$$G_1 = 53091 - 14998 = 38093 (\text{kg/h})$$

第一效蒸发水量 W_1

$$W_1 = 38093 \left(1 - \frac{31.5}{60}\right) \\ = 18094 (\text{kg/h})$$

⑥得到的浓黑液量 G

$$G = 38093 - 18094 = 19999 (\text{kg/h})$$

二、多效蒸发的效数计算

【说明】 每 kg 新蒸汽从废液中蒸发的水量,叫蒸发系统的蒸发比。蒸发比愈大,则热效率愈好。而多效蒸发器的效数愈多,蒸发比会愈大,故热效率高,从而节约蒸汽。如三效蒸发时,蒸发比为 2.2~2.5;7 效时则为 5.0~5.5。但效数增多,设备费用增高,所以,效数不能过多,应以节约蒸汽的费用与增加设备的费用相平衡为确定效数的原则,一般采用 3~6 效,可根据经验公式粗略计算。

【公式】

$$n = \frac{E}{0.8} \quad (1-10-14)$$

式中 n —— 效数

E —— 蒸发比

三、蒸发的传热量计算

【说明】 总温差即所用蒸汽的温度与末效液温之差。温差越大,单位时间内以蒸汽传给黑液的热量越大,故蒸发强度大。

【公式】

$$Q = 4.1868KA\Delta T \quad (1-10-15)$$

式中 Q —— 单位时间内以蒸汽传给黑液的热量(kJ/h)

A —— 加热器的传热面积(m^2)

ΔT —— 蒸汽和废液的平均温差($^{\circ}\text{C}$)

K —— 传热系数[$\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$]

四、蒸发器蒸汽消耗量的计算

(一)直接蒸汽加热的蒸汽消耗量计算

【公式】

$$D = \frac{GC(t_2 - t_1) + \tau Q_1}{i - St_2} \quad (1-10-16)$$

式中 D —— 蒸汽消耗量(kg/h)

G —— 被加热液体的重量(kg/h)

C —— 被加热液体的比热[kJ/(kg·°C)]

t_1 —— 液体初温(°C)

t_2 —— 液体终温(°C)

i —— 蒸汽的热焓(kJ/kg)

τ —— 加热时间(h)

Q_1 —— 加热设备损失于外界的热量(kJ/h)

S —— 水的比热[4.1868kJ/(kg·°C)]

(二)间接蒸汽加热蒸汽消耗量的计算

【公式】

$$D = \frac{GC(t_2 - t_1) + \tau Q_1}{i - St_0} \quad (1-10-17)$$

式中 t_0 —— 冷凝水的温度(°C)

Q_1 —— 同上,一般取 25120~27214(kJ/h)

其它同上

五、蒸发黑液时传热系数的计算

【公式】

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1-10-18)$$

式中 K —— 传热系数[kJ/(m²·°C)]

α_1 —— 从加热蒸汽到管壁间的给热系数[kJ/(m²·°C)]

δ_1 —— 管壁厚度(m)

λ_1 —— 管壁的热导率[kJ/(m·°C)]

σ_2 —— 管垢(沉渣)层的厚度(m)

λ_2 —— 管垢的热导率[kJ/(m·°C)]

α_2 —— 从管壁到沸腾黑液间的传热系数[kJ/(m²·°C)]

六、蒸发设备的计算

(一)预热器加热面积的计算

【公式】

$$F = \frac{GC_p(t_K - t_H)}{K \cdot \Delta t_{cp}} \quad (1-10-19)$$

式中 G —— 黑液流量(kg/h)

C_p —— 黑液比热[kJ/(kg·°C)]

$$C_p = 4.10 - 2.18C$$

(1-10-20)

C —— 黑液固形物含量(%)

t_K —— 黑液出口温度(°C)

t_H —— 黑液入口温度(°C)

K —— 传热系数[kJ/(m²·h·°C)],一般取 2512

Δt_{cp} —— 平均温差(°C)

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_H - \Delta t_K}{2.3 \lg \frac{\Delta t_H}{\Delta t_K}} \quad (1-10-21)$$

$$\Delta t_H = t - t_H$$

$$\Delta t_K = t - t_K$$

t —— 饱和蒸汽温度(°C)

(二)混合式冷凝器的计算

1. 直径的计算

【说明】混合式冷凝器用来冷却最后—效二次蒸汽,其直径的大小主要取决于被冷却的二次蒸汽的量。

【公式】

$$d = 0.023 \sqrt{\frac{DV}{W}} \quad (1-10-22)$$

式中 d —— 混合式冷凝器内径(m)

D —— 被冷凝的二次蒸汽量(kg/h)

V —— 冷凝器内压力下二次蒸汽比容(m^3/kg)

W —— 蒸汽流速(在冷凝器中压强为0.1~0.2绝对大气压时,一般流速为35~55m/s)(m/s)

2. 气压管高度的计算

【公式】

$$H = H_0 + h + 0.5 \quad (1-10-23)$$

式中 H —— 气压管总高(m)

H_0 —— 在正常大气压力下水柱在管内的高度(m)

$$H_0 = 10.33 \times \frac{b}{760} \quad (1-10-24)$$

b —— 冷凝器内真空度(mmHg)

h —— 气压管中应有的压头损失(克服阻力压头损失—般约为1m)(m)

3. 冷却水用量的计算

【公式】

$$W = G \frac{i - St_K}{(t_K - t_H)S} \quad (1-10-25)$$

式中 W —— 混合冷凝器冷却水用量(kg/h)

G —— 最后—效的二次蒸汽量(kg/h)

i —— 二次蒸汽的热焓(kJ/kg)

S —— 水的比热[kJ/(kg·°C)],取4.1868

t_H —— 冷却水的初温(°C)

t_K —— 排出冷凝水的终温(°C),通常冷凝水的温度为35~45°C

4. 从混合冷凝器中抽出空气量的计算

【公式】

$$D_K = 0.000025G + 0.000025W + 0.01G \quad (1-10-26)$$

式中 D_K —— 从冷凝器抽出空气的重量(kg/h)

G —— 冷凝之二次蒸汽量(kg/h)

W —— 冷却水用量(kg/h)

(三)从表面冷凝器抽出空气重量计算

【公式】

$$D_H = 0.000025G + 0.01G \quad (1-10-27)$$

式中 D_H —— 从表面冷凝器抽出空气的重量(kg/h)

其它同上

(四)真空泵从冷凝器中抽出蒸汽重量的计算

【公式】

$$D_n = 0.001 \times (0.025W_B + 16G_n) \quad (1-10-28)$$

式中 D_n —— 真空泵从冷凝器中抽出的空气量(kg/h)

W_B —— 冷凝器耗用清水量(kg/h)

G_n —— 最后一效的二次蒸汽量(kg/h)

第三节 黑液的燃烧工艺与设备计算

一、黑液燃烧需要的空气量计算

(一)理论空气量的计算

【说明】 碱炉燃烧所需空气量是为了供给黑液固形物燃烧和化学反应所需的氧气。当空气量供给不足时,会产生 CO;空气量供给过多时,会降低炉温。同时,空气直接与熔融的 Na_2S 接触,使其重新氧化,降低 Na_2S 还原率。总的空气量,是根据黑液固形物元素分析中,可燃元素完全燃烧所需的氧气量,而折算成空气量,一般以燃烧 1kg 绝干黑液固形物为基准计算所需理论空气量。

1. 理论空气重量的计算

$$\begin{aligned} \text{【公式】} \quad L_0 &= \frac{2.67C + 8H + S - O}{0.23 \times 100} \quad (1-10-29) \\ &= 0.0435(2.67C + 8H + S - O) \end{aligned}$$

式中 L_0 —— 黑液燃烧所需理论空气重量(kg/kg 绝干固形物)

C, H, S, O —— 表示黑液固形物中碳、氢、硫及氧元素的百分含量(%)

0.23 —— 空气中氧所占的重量百分数

各元素前的系数 —— 表示燃烧 1kg 该元素所需要的氧气量

2. 理论空气体积的计算

【公式】

$$V_0 = \frac{2.67C + 8H + S - O}{0.23 \times 100 \times 1.293} \quad (1-10-30)$$

式中 V_0 —— 理论空气体积(m^3/kg 绝干固形物)

1.293 —— 空气的密度(kg/m^3)

其它同上

(二)实际所需空气量的计算

【说明】 实际空气量是理论空气量的1.05~1.10倍。国外有的为1.15~1.35倍。空气量不足,烟气组成变化亦不同,当烟气中没有CO存在和有过剩氧4~5%时说明空气供入量合适。

【公式】

$$L_g = (1.05 \sim 1.10)L_0 \quad (1-10-31)$$

$$\text{或 } L_g = (1.15 \sim 1.35)L_0 (\text{国外}) \quad (1-10-32)$$

式中 L_g —— 实际空气量(kg/kg 绝干固形物)或(m³/kg 绝干固形物)

L_0 —— 同式1-10-30及1-10-31

二、固形物燃烧所产烟气量的计算

【说明】 1kg 固形物燃烧所产烟气量可由下式计算。

【公式】

$$G = (\alpha - 0.21)V_0 + 1.867C + 0.7S + 0.8H \quad (1-10-33)$$

式中 G —— 烟气量(标准 m³/kg)

V_0 —— 燃烧1kg 固形物所需理论空气量(标准 m³/kg)

α —— 过剩空气系数,可取1.05~1.10或1.15~1.35

$$\alpha = \frac{L_g}{L_0} = \frac{V_g}{V_0} \quad (1-10-34)$$

L_0, L_g —— 分别为理论空气量和实际空气量(kg/kg 绝干固形物)

V_g, V_0 —— 分别为理论空气体积和实际空气体积(m³/kg 绝干固形物)

三、燃烧后熔融物量的计算

(一)参加还原反应的芒硝量计算

【公式】

$$N_0 = N + N_1 + N_2 \quad (1-10-35)$$

式中 N_0 —— 参加还原反应的芒硝量(kg/t 浆)

N —— 补充芒硝量(kg/t 浆)

N_1 —— 黑液带入的芒硝量(kg/t 浆)

N_2 —— 芒硝损失量(kg/t 浆)

(二)燃烧还原反应后形成的硫化钠计算

【公式】

$$S_0 = N_0 P \times \frac{78}{142} \quad (1-10-36)$$

式中 S_0 —— 还原反应后形成的硫化钠量(kg/t 浆)

P —— 芒硝还原率(%)

N_0 —— 同上

(三)未参加还原反应的芒硝量计算

【公式】

$$N_3 = N_0(1 - P) \quad (1-10-37)$$

式中 N_3 —— 未参加还原反应的芒硝量(kg/t 浆)

其它同上

(四) 由于有机硫回收所得硫化钠量计算

【公式】

$$S_1 = (R - Rq_s) \times \frac{78}{32} \quad (1-10-38)$$

式中 S_1 —— 由有机硫回收所得硫化钠量(kg/t 浆)

R —— 黑液中带入的有机硫量(kg/t 浆)

q_s —— 有机硫损失率(%)

(五) 由有机硫回收生成硫化物所耗氢氧化钠量的计算

【公式】

$$H_0 = S_1 \times \frac{80}{78} \quad (1-10-39)$$

式中 H_0 —— 由有机硫回收生成硫化钠所耗氢氧化钠量(kg/t 浆)

(六) 碳酸化作用生成碳酸钠量的计算

【公式】

$$C_0 = (H_1 - H_0) \times \frac{106}{80} \quad (1-10-40)$$

式中 C_0 —— 碳酸化作用生成碳酸钠量(kg/t 浆)

H_1 —— 黑液带入的氢氧化钠量(kg/t 浆)

(七) 熔融物中碳酸钠总量的计算

【公式】

$$C_1 = C_0 + C_2 - C_3 \quad (1-10-41)$$

式中 C_1 —— 熔融物中碳酸钠总量(kg/t 浆)

C_2 —— 黑液带入的碳酸钠量(kg/t 浆)

C_3 —— 碳酸钠损失量(kg/t 浆)

C_0 —— 同式1-10-41

(八) 熔融物总量的计算

【公式】

$$M = S_0 + N_3 + S_1 + C_1 + S_2 + A \quad (1-10-42)$$

式中 M —— 熔融物总量(kg/t 浆)

S_2 —— 黑液带入硫化钠量(kg/t 浆)

A —— 无机杂质量(kg/t 浆)

其它同前

(九) 燃烧后熔融物量的计算实例

【例】 某硫酸盐浆厂,测得进碱回收车间黑液固形物的部分组成和熔融物组成如表1-10-1,另外还测出碱尘飞失量占入黑液和芒硝(以 Na_2O 计)碱量的15%,其中有85%被灰箱和文丘里等回收,不可回收飞失量的90%为硫酸钠,10%为碳酸钠,燃烧有机硫损失

为45%，计算每吨浆生产的熔融物量是多少？

解：①参加还原反应的 Na_2SO_4 量

根据碱量平衡算出补充芒硝碱量 N ：

$$A + N = B + C$$

(1-10-43)

表1-10-1

黑液固形物及熔融物组成

项目	黑液固形物		黑液熔融物	
	组分(%)	重量(kg/t 浆)	组分(%)	重量(kg/t 浆)
游离的 NaOH	1.4	21		
有机化合的 NaOH	23.4	351		
Na_2S	1.0	24	16.0	106
Na_2CO_3	4.0	60	81.4	537
Na_2SO_4	1.0	15	2.6	17
无机杂质	0	0	0	0
有机硫	1.6	24		

式中 A —— 黑液带入碱量(kg/t 浆)

N —— 补充芒硝量(kg/t 浆)

B —— 熔融物碱量(kg/t 浆)

C —— 飞失碱量(kg/t 浆)

$$C = (A + N) \times 15\% \times (1 - 85\%)$$

$$\text{得: } N = \frac{B - A[1 - (1 - 85\%) \times 15\%]}{1 - (1 - 85\%) \times 15\%}$$

$$A = \text{NaOH 量} \times \frac{62}{80} + \text{Na}_2\text{S 量} \times \frac{62}{78} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{量} \times \frac{62}{106} + \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{量} \times \frac{62}{142}$$

$$= (21 + 351) \times \frac{62}{80} + 24 \times \frac{62}{78} + 60 \times \frac{62}{106} + 15 \times \frac{62}{142}$$

$$= 349(\text{kg/t 浆})(\text{以 } \text{Na}_2\text{O 计})$$

$$B = \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{量} \times \frac{62}{106} + \text{Na}_2\text{S 量} \times \frac{62}{78} + \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{量} \times \frac{62}{142}$$

$$= 573 \times \frac{62}{106} + 106 \times \frac{62}{78} + 17 \times \frac{62}{142}$$

$$= 405.7(\text{kg/t 浆})(\text{以 } \text{Na}_2\text{O 计})$$

将 A 、 B 带入①式得

$$N = \frac{405.7 - 349[1 - (1 - 85\%) \times 15\%]}{1 - (1 - 85\%) \times 15\%}$$

$$= 66.1(\text{kg/t 浆})(\text{以 } \text{Na}_2\text{O 计})$$

折算为95%纯度的芒硝量：

$$\frac{66.1 \times \frac{142}{62}}{95\%} = 159.3(\text{kg/t 浆})$$

$$N_2 = [(A + N) \times 15\%](1 - 85\%) \times 90\% \times \frac{142}{62}$$

$$= [(349 + 66.1) \times 15\%](1 - 85\%) \times 90\% \times \frac{142}{62}$$

$$= 19.3(\text{kg/t 浆})$$

$$\text{故: } N_0 = N + N_1 - N_2$$

$$=159.3+15-19.3$$

$$=155.0(\text{kg/t 浆})$$

②还原反应生成的 Na_2S 量 S_0

$$P = \frac{\text{熔融物中 } \text{Na}_2\text{S} \text{ 量}}{\text{熔融物中 } (\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_3) \text{ 量}} \times 100\% = \frac{106}{106 + 17 \times \frac{78}{142}} \times 100\%$$

$$=91.9\%$$

$$\text{故: } S_0 = N_0 P \times \frac{78}{142}$$

$$=155 \times 91.9\% \times \frac{78}{142}$$

$$=78.2(\text{kg/t 浆})$$

③未起还原反应的芒硝量 N_3

$$N_3 = N_0(1 - P)$$

$$=155(1 - 91.9\%)$$

$$=12.6(\text{kg/t 浆})$$

④由有机硫生成的 Na_2S 量 S_1

$$S_1 = (S_2 - R_{q_2}) \frac{78}{32}$$

$$= (24 - 24 \times 45\%) \times \frac{78}{32}$$

$$=32.2(\text{kg/t 浆})$$

⑤由有机硫生成 Na_2S 所耗用的 NaOH 量 H_0

$$H_0 = S_1 \times \frac{80}{78}$$

$$=32.2 \times \frac{80}{78}$$

$$=33.0(\text{kg/t 浆})$$

⑥ NaOH 碳酸化反应生成 Na_2CO_3 量 C_0

$$C_0 = (H_1 - H_0) \times \frac{106}{80}$$

$$= (372 - 33) \times \frac{106}{80}$$

$$=449.1(\text{kg/t 浆})$$

⑦熔融物中总碳酸钠量 C_1

$$C_1 = C_0 + C_2 - C_3$$

$$=449.1 + 60 - [(A + N) \times 15\%](1 - 85\%) \times 10\% \times \frac{106}{62}$$

$$=449.1 + 60 - [(349 + 66.1) \times 15\%](1 - 85\%) \times 10\% \times \frac{106}{62}$$

$$=507.5(\text{kg/t 浆})$$

⑧熔融物总量 M

$$M = S_0 + N_3 + S_1 + C_1 + S_2 + A$$

$$=78.2 + 12.6 + 32.2 + 507.5 + 24 + 0$$

$$=654.5(\text{kg/t 浆})$$

四、黑液固形物发热量的计算

【说明】 黑液固形物发热量是指黑液中1kg 固形物完全燃烧时产生的热量,其值的大小直接影响燃烧炉的结构和操作,可用量热弹测出,也可用经验公式计算,只是后者算出的发热量值稍低。

(一)相同浓度黑液固形物发热量计算

【公式】

$$Q_0 = 4.1868[81C + 300H + 26(O - S) - 6(9H - W)] \quad (1-10-44)$$

式中 Q_0 —— 黑液固形物发热量(kJ/kg)

C, H, O, S, W —— 分别为碳、氢、氧、硫及水分的百分含量(%)

(二)不同浓度黑液的发热量计算

【说明】 指不同浓度的黑液在燃烧时发出的热量。当燃烧时将所有生成的水及黑液最初所含的水都从烟气中凝结为液体且被冷却到黑液入炉时的温度。此条件下计算出的发热量 Q_H 叫高位发热量。当燃烧后所得的水为蒸汽时的发热量叫低位发热量 Q_L 。**【公式】**

$$Q_H = \frac{100 - W}{100} Q_0 \quad (1-10-45)$$

$$Q_L = Q_H - 6(9H + W) \quad (1-10-46)$$

式中 Q_H —— 入炉黑液的高位发热量(kJ/kg)

Q_L —— 入炉黑液的低位发热量(kJ/kg)

W —— 入炉黑液的水分含量(%)

Q_0 —— 固形物的标准发热量(kJ/kg),可由测定而得

H —— 氢元素的含量(%)

【例】 某厂生产的硫酸盐木浆,测出碱回收车间黑液固形物的标准发热量为15321kJ/kg,氢含量为3.6%,入炉黑液水分含量为55%、50%、40%、32%。计算不同浓度黑液的发热量。

解:入炉黑液水分含量为55%、50%、40%及32%时不同浓度的黑液固形物的高位发热量 Q_H 及低位发热量 Q_L 为:

$$Q_{H_1} = \frac{100 - W}{100} Q_0 = \frac{100 - 55}{100} \times 15321 = 6894(\text{kJ/kg})$$

$$Q_{H_2} = \frac{100 - 50}{100} \times 15321 = 7661(\text{kJ/kg})$$

$$Q_{H_3} = \frac{100 - 40}{100} \times 15321 = 9193(\text{kJ/kg})$$

$$Q_{H_4} = \frac{100 - 32}{100} \times 15321 = 10418(\text{kJ/kg})$$

$$Q_{L_1} = Q_{H_1} - 6(9H + W_1) = 6894 - 6(9 \times 3.6 + 55) = 6370(\text{kJ/kg})$$

$$Q_{L_2} = Q_{H_2} - 6(9H + W_2) = 7661 - 6(9 \times 3.6 + 50) = 7167(\text{kJ/kg})$$

$$Q_{L_3} = Q_{H_3} - 6(9H + W_3) = 9193 - 6(9 \times 3.6 + 40) = 8759(\text{kJ/kg})$$

$$Q_{L_4} = Q_{H_4} - 6(9H + W_4) = 10418 - 6(9 \times 3.6 + 32) = 9840(\text{kJ/kg})$$

五、喷射炉中余热锅炉产汽量的简单计算

【公式】
$$D = \frac{Q_p \cdot \eta}{i_2 - i_1} \times \frac{1}{1000} \quad (1-10-47)$$

式中 D ——余热锅炉产汽量(kg/h)

Q_p ——每小时炉内固形物发热量(kJ/h)

η ——锅炉热效率(%), 喷射炉一般为58~62%

i_2 ——蒸汽在额定压力下的热焓(kJ/kg)

i_1 ——在给水温度下的热焓(kJ/kg)

六、燃烧设备的工艺计算

(一)喷射炉尺寸的计算

1. 喷射炉体积的计算

【公式】
$$V = \frac{Q_p}{A} \quad (1-10-48)$$

式中 V ——所需喷射炉的体积(m^3)

Q_p ——炉内发热量(kJ/h)

$$Q_p = Gq \quad (1-10-49)$$

G ——燃烧黑液固形物重量(kJ/h)

q ——黑液绝干固形物的发热量(kJ/kg)

A ——喷射炉有效容积热负荷[kJ/($m^3 \cdot h$)], 根据国外资料介绍, 日产300t 纸浆时, $A = (120 \sim 150) \times 4186.8 \text{ kJ}/(m^3 \cdot h)$; 当日产500~700t 浆时: $A = (100 \sim 115) \times 4186.8 \text{ kJ}/(m^3 \cdot h)$, 随着生产能力提高, 热负荷减少。

2. 喷射炉底截面积的计算

【公式】
$$F = \frac{Q_p}{B} \quad (1-10-50)$$

式中 F ——炉底截面积(m^2)

Q_p ——炉气发热量(kJ/h)

B ——炉底热负荷[kJ/($m^2 \cdot h$)]

3. 喷射炉炉膛高度的确定

【公式】
$$H = \frac{V}{F} \quad (1-10-51)$$

式中 H ——炉膛高度(m)

V, F ——同上

(二)文丘里喉管选择计算

1. 喉管直径

【公式】
$$d_1 = 1.88 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{Q_1}{w_1}} \quad (1-10-52)$$

式中 d_1 ——文丘里喉管直径(m)

w_1 ——进口烟气流速, 一般取80m/s

Q_1 ——进口烟气流量(m^3/h)

$$Q_1 = \alpha \frac{T_1}{P_1} \times \frac{P_0 Q_0}{T_0} = \alpha \frac{273 + t_1}{P_1} \times \frac{P_0 Q_0}{273} \quad (1-10-53)$$

$$Q_0 = BG \quad (1-10-54)$$

P_0 —— 锅炉本体压力降, 一般采用 686.47Pa (70mmH₂O)

P_1 —— 进口烟气压强(Pa)

$$P_1 = P - P_0 \quad (1-10-55)$$

P —— 标准状况下大气压力(101325Pa)

α —— 漏气系数, 取 1.2

t_1 —— 进口烟气的温度(°C)

B —— 固形物产生烟量, 一般为 5000 标准 m³/t 固形物

G —— 每小时进喷射炉固形物总量(t/h)

2. 喉管长度

【公式】

$$L = (0.5 \sim 1)d_1 \quad (1-10-56)$$

式中 L —— 喉管长度(m)

d_1 —— 同上

(三) 旋风分离器的选择计算

1. 旋风分离器圆筒部分直径计算

【公式】

$$d_2 = 1.88 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{Q_2}{W_2}} \quad (1-10-57)$$

式中 d_2 —— 圆筒部直径(m)

Q_2 —— 进旋风分离器的流量(m³/h)

$$Q_2 = \alpha \frac{273 + t_2}{P_3} \times \frac{PQ_0}{273} \quad (1-10-58)$$

P_3 —— 进旋风分离器压强(Pa)

$$P_3 = P_1 - P_2 \quad (1-10-59)$$

P_1 —— 文丘里管进口烟气压强(Pa)

P_2 —— 经文丘里管压强降, 一般选用 6864.9Pa (700mmH₂O)

t_2 —— 进旋风分离器的温度(°C)

w_2 —— 圆筒部分烟气速度, 取 2.5~5m/s

2. 旋风分离器圆筒部分的高度

【说明】 高度 H 值随烟气速度的增加而增加, 见表 1-10-2。

表 1-10-2 圆筒高度与烟气速度的关系

w (m/s)	2.5~3	3~3.5	3.5~4.5	4.5~5.5
H (m)	$2.5 d_2$	$2.8 d_2$	$3.8 d_2$	$4.5 d_2$

(四) 送风机的选择计算

【说明】 燃烧每吨固形物需要空气量求出后, 就可计算风量和风压, 继而选出风机。

1. 送风量的计算

【公式】

$$V = 1.1 \alpha_m B_p V_0 \frac{273 + t_B}{273} \cdot \frac{101325}{b} \quad (1-10-60)$$

式中 V ——送风量(m^3/h)

1.1 ——风量备用系数

α_m ——炉膛过剩空气系数

B_p ——每小时进入喷射炉的固形物量(kg/h)

V_0 ——每 kg 固形物理论需要空气量(标准 m^3/kg)

b ——当地大气压(Pa),当海拔高度小于200m时,可采用101325Pa

t_B ——进入送风机的冷空气温度($^{\circ}\text{C}$)

2. 送风机的总压头

【公式】
$$H_B = 1.2 \Sigma \Delta h \frac{273 + t_B}{273 + 20} \cdot \frac{101325}{b} \quad (1-10-61)$$

式中 1.2 ——备用系数

H_B ——总压头(Pa)

$\Sigma \Delta h$ ——总阻力(Pa)

$$\Sigma \Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 \quad (1-10-62)$$

Δh_1 ——喷风嘴需保持的压力(Pa)

Δh_2 ——空气预热器对空气阻力(Pa)

Δh_3 ——空气在管道中的摩擦阻力及局部阻力(Pa)

其它同上

(五) 引风机的选择计算

1. 引风机烟气量的计算

【公式】

$$V_1 = 1.1 B_p V_r \frac{273 + t_x}{273} \cdot \frac{101325}{b} \quad (1-10-63)$$

式中 V_1 ——烟气量(m^3/h)

1.1 ——备用系数

B_p ——每小时进入喷射炉的总固形物量(kg/h)

V_r ——排烟体积(应计入漏风系数)(标准 m^3/kg)

t_x ——引风前烟气温度($^{\circ}\text{C}$),一般近似等于排烟温度

b ——当地大气压(Pa)

2. 引风机的总压头

【公式】
$$H_r = 1.2 (\Sigma \Delta h - S_m) \frac{273 + t_x}{273 + 200} \cdot \frac{101325}{b} \quad (1-10-64)$$

式中 H_r ——总压头(Pa)

1.2 ——备用系数

$\Sigma \Delta h$ ——总阻力(Pa)

$$\Sigma \Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 \quad (1-10-65)$$

Δh_1 ——经锅炉本体的压力降(Pa)

Δh_2 ——经文丘里管或其它除尘设备的压力降(Pa)

Δh_3 ——烟道阻力(Pa)

S_w — 烟囱引力(Pa)

第四节 绿液的苛化工艺计算

一、白液成分的计算

(一) 氢氧化钠含量的计算

【公式】

$$C_1 = A(1 - S) \quad (1-10-66)$$

式中 C_1 — 氢氧化钠含量(g/L)

A — 活性碱量(以 NaOH 计)(g/L)

S — 硫化度(%)

(二) 硫化钠含量的计算

【公式】

$$C_2 = A' - C_1' \quad (1-10-67)$$

式中 C_2 — 硫化钠含量(g/L)

A' — 活性碱量(以硫化钠计)(g/L)

C_1' — 氢氧化钠含量(以硫化钠计)(g/L)

(三) 碳酸钠含量的计算

【公式】

$$C_3 = \frac{C_1''(1 - K)}{K} \quad (1-10-68)$$

式中 C_3 — 碳酸钠含量(g/L)

C_1'' — 氢氧化钠含量(以碳酸钠计)(g/L)

K — 苛化率(%)

(四) 硫酸钠含量的计算

【公式】

$$C_4 = \frac{C_2'(1 - p)}{p} \quad (1-10-69)$$

式中 C_4 — 硫酸钠含量(g/L)

C_2' — 硫化钠含量(以 Na_2SO_4 计)(g/L)

p — 芒硝还原率(%)

(五) 总碱含量的计算

【公式】

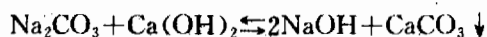
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (1-10-70)$$

式中 C — 总碱含量(g/L)(以 Na_2O 计)

C_1, C_2, C_3, C_4 — 含义同上,均以 Na_2O 计

二、苛化反应理论平衡常数的计算

【说明】 根据苛化反应:



可知,反应是可逆的,苛化过程中,随着反应的进行,NaOH 浓度增加,即溶液中的 $[\text{OH}^-]$ 逐渐增加, Na_2CO_3 浓度逐渐下降,即 $[\text{CO}_3^{2-}]$ 逐渐减少。根据共同离子效应理论, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解度越来越低, CaCO_3 溶解度逐渐上升,当二者溶解度趋向一致时,苛化反应达到平衡,理论的苛化平衡常数 K 计算如下。

【公式】

$$K = \frac{[\text{OH}^-]^2}{[\text{CO}_3^{2-}]} \quad (1-10-71)$$

式中 K —— 苛化反应理论平衡常数

$[\text{OH}^-]$ —— OH^- 离子浓度

$[\text{CO}_3^{2-}]$ —— CO_3^{2-} 离子浓度

三、苛化率与平衡常数的关系

【公式】

$$\text{苛化率}(\%) = \frac{K}{2[\text{OH}^-]_e + K} \quad (1-10-72)$$

式中 $[\text{OH}^-]_e$ —— 达到平衡时 OH^- 的浓度

K —— 平衡常数

四、苛化器蒸汽用量的计算

【公式】

$$D_1 = \frac{Q + q}{i_2 - St_0} \quad (1-10-73)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = W_1 \times 4.1868(t_2 - t_1) + W_2 \times 1.465(t_2 - t_1) \quad (1-10-74)$$

$$q = n\left(\frac{\pi}{4}d^2q_1 + \pi dhq_2\right) \quad (1-10-75)$$

式中 D_1 —— 苛化器蒸汽耗用量(kg/h)

Q —— 苛化所需热量(kJ/h)

Q_1 —— 液体所需热量(kJ/h)

Q_2 —— 碱和固体物所需热量(kJ/h)

W_1 —— 苛化液量(kg/h)

W_2 —— 碱和固体物量(kg/h)

t_1 —— 苛化液进入温度($^{\circ}\text{C}$)

t_2 —— 苛化温度($^{\circ}\text{C}$)

t_0 —— 凝结水温度($^{\circ}\text{C}$)

q —— 热损失(kJ/h)

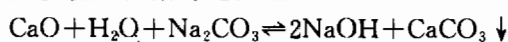
S —— 水的比热[kJ/(kg \cdot °C)],取4.1868

d —— 苛化器直径(m)

- h —— 苛化器高度(m)
 q_1 —— 苛化器上部热损失[kJ/(m²·h)]
 q_2 —— 苛化器四周热损失[kJ/(m²·h)]
 i_2 —— 蒸汽热焓(kJ/kg)
 n —— 苛化器台数,一般为2台
 1.465 及 4.1868 —— 分别为固形物及水的比热容[kJ/(kg·°C)]

五、苛性钠生成量的计算

【说明】 根据苛化反应:



故 $1\text{molNa}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons 2\text{NaOH}$

即 $106\text{gNa}_2\text{CO}_3$ 正好生成 80gNaOH , 由此可推导出苛性钠生成量的计算式:

【公式】

$$G = \frac{G_1 \times 80}{106} m \quad (1-10-76)$$

式中 G —— 苛化生成 NaOH 量(kg)

G_1 —— 绿液中含有 Na_2CO_3 量(kg)

m —— 苛化率(%)

【例1】 在苛化反应中,绿液浓度为 110g/L (Na_2O 计),今有绿液量 10m^3 ,用纯度为 85% 的 CaO 进行苛化,若苛化率为 90%,求苛化后生成的 NaOH 量。

解:绿液中含有 Na_2CO_3 量 G_1 :

$$G_1 = 10 \times 110 \times \frac{56}{31} = 1881 (\text{kg})$$

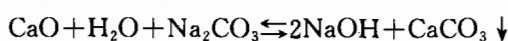
苛化后生成的 NaOH 量 G

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{G_1 \times 80}{106} m \\
 &= \frac{1881 \times 80}{106} \times 90\% \\
 &= 1277.7 (\text{kg})
 \end{aligned}$$

六、苛化石灰消耗量的计算

(一)方法一

【说明】 根据苛化反应:



$1\text{molCaO} \rightleftharpoons 1\text{molNa}_2\text{CO}_3$

即 56gCaO 正好与 $106\text{gNa}_2\text{CO}_3$ 完全作用,故可导出其计算式如下:

【公式】

$$G_2 = \frac{\alpha G_1 \times 56}{p \times 106} \quad (1-10-77)$$

式中 G_2 —— 石灰消耗量(kg)

G_1 —— 绿液中 Na_2CO_3 含量(kg)

p —— 石灰的纯度(%)

α ——石灰过量系数,通常取1.05~1.10

【例2】 求例1中的石灰用量。 α 取1.1

$$\text{解: } G_2 = \frac{\alpha G_1 \times 56}{p \times 106} = \frac{1.1 \times 1881 \times 56}{106 \times 85\%} \\ = 1286.01(\text{kg})$$

(二)方法二

【公式】

$$G_2 = \frac{\alpha A(1 - S) \times 56}{m p \times 62} \quad (1-10-78)$$

式中 G_2 ——石灰用量(kg/t 浆)

A ——蒸煮消耗的有效碱(kg/t 浆)(Na_2O 计)

S ——白液的硫化度(%)

m ——苛化率(%)

α ——石灰过量系数,同上

p ——石灰中有效 CaO 含量(%)

第五节 白泥回收的工艺计算

一、白泥量的计算

【说明】 白泥包括苛化反应生成的 CaCO_3 、过量石灰所形成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,以及石灰中的惰性物。

(一)方法一

【公式】

$$G = G_1 P \times \frac{100}{56} + [G_1(1 - P) - G_2] \quad (1-10-79)$$

式中 G ——白泥量(kg)

P ——石灰纯度(%)

G_1 ——石灰用量(kg)

G_2 ——提渣机带出的砂砾(kg)

【注意】 该法假定全部 CaO 转化为 CaCO_3 ,未考虑过剩石灰的影响,故不够准确。

(二)方法二

【公式】

$$G = (G_0 \times \frac{100}{56} + G_3 \times \frac{74}{56})P + [G_1(1 - P) - G_2] \quad (1-10-80)$$

式中 G ——白泥量(kg)

G_0 ——理论石灰用量(kg)

G_3 ——过剩石灰用量(kg)

100、74、56——分别为 CaCO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 CaO 的摩尔质量

其它同上

二、石灰转窑的生产能力计算

(一)对于长径比为15~20的转窑计算

【说明】 此种情况下可采用经验式计算。

【公式】

$$G = 3.22KD^4 \quad (1-10-81)$$

式中 G ——石灰转窑生产能力(t 碳/d)

D ——转窑直径(m)

K ——考虑沉渣水分,衬砖厚度及燃料品种影响的修正系数

$$K = K_1 K_2 K_3 \quad (1-10-82)$$

K_1 ——对水分40%的沉渣, $K_1 = 1$, 水分每增加1%, K_1 减少0.014

K_2 ——对砖厚150mm的窑衬, $K_2 = 1$, 窑衬厚度每增加10mm, K 减少0.026

K_3 ——对于石油, $K_3 = 1$; 对于发生炉煤气, $K_3 = 0.9$

【注意】 除上述因素外,具有能充分利用排气热量和排出石灰热量装置,对石灰转窑能力也有很大影响。

(二)石灰转窑产量的经验计算

【公式】

$$G = 3.21 \times 10^{-3} K_1 L D^3 \quad (1-10-83)$$

式中 G ——产量(t 碳/d)

D ——转窑内径(m)

L ——转窑全长(m)

K_1 ——容量系数,当白泥含水40%时, $K_1 = 1$; 白泥含水每减少5%时, K_1 值以外另加0.07

三、石灰在转窑中停留时间计算

【公式】

$$\tau = \frac{FLK}{\beta ND} \quad (1-10-84)$$

式中 τ ——停留时间(min)

F ——与自然堆积角有关的因数,对于白泥平均为11.2

L ——转窑的长度(m)

β ——转窑的斜角(度),其与斜度的关系见表1-10-3

N ——转速(r/min)

D ——转窑内径(m)

K ——影响白泥在炉内停滞系数,在没有结圈的正常运转情况下, $K = 1$

【例】 某转窑直径3.05m,长82.5m,衬砖厚153mm,斜度3.13%,转速1.04r/min,计算石灰在转窑内停留时间。

解:查表1-10-3,当斜度为3.13%(3°96')时,斜角 $\beta = 43.79^\circ$,故

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{FLK}{\beta ND} \\ &= \frac{11.2 \times 82.5 \times 1}{1.79 \times 1.04 \times (3.05 \times 0.153 \times 2)} \\ &= 181(\text{min}) \\ &= 3.02(\text{h})\end{aligned}$$

四、石灰转窑转速的计算

【公式】

$$N = \frac{1.77 \sqrt{\varphi L}}{SDT} \quad (1-10-85)$$

式中 N —— 转速(r/min)

φ —— 物料自然堆积角, 取 35°

L —— 转窑长度(m)

D —— 转窑内径(m)

T —— 停留时间(min)

S —— 转窑的斜度, 其与斜角的关系见表1-10-3

表1-10-3

转窑的斜角与斜度的关系

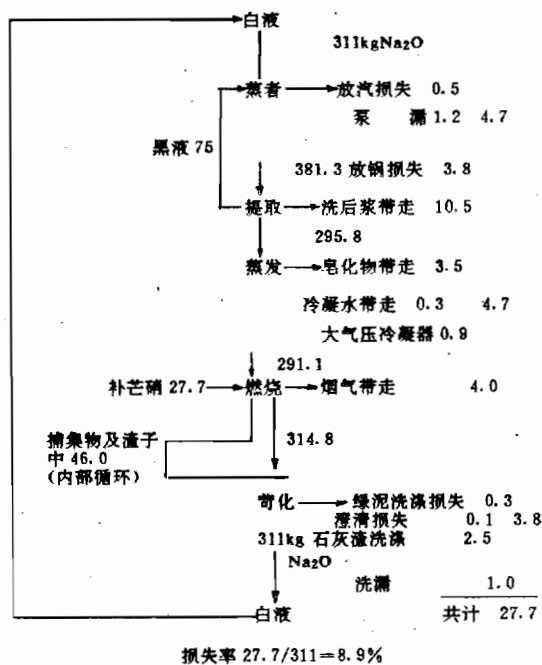
斜角 β (度)	1.19	1.49	1.79	2.09	2.39	2.60	2.98
斜度 S	1/48	5/192	3/96	1/32	1/24	9/192	5/98

第六节 从蒸煮到苛化碱、硫衡算示例

一、碱衡算示例

【说明】 以1t硬浆为计算基数, 结果以 Na_2O 计。

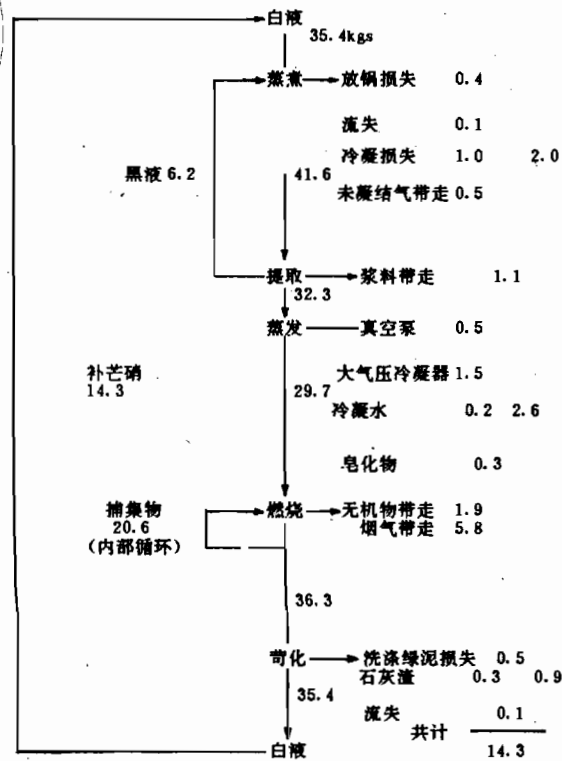
【示例】 计算内容及结果如下:



二、硫衡算示例

【说明】 以1t 硬浆为计算基数,结果以 S 计。

【示例】 计算内容及结果如下:



$$\text{损失率} = \frac{14.3}{35.4} \times 100\% = 40.4\%$$

$$\text{折合芒硝量} = 14.3 \times \frac{142}{32} = 63.5(\text{kg})$$

第十一章 红液的回收工艺与设备计算

第一节 红液的组成及性质计算

一、红液的相对密度、波美度、浓度与温度的关系

(一)亚硫酸氢镁红液

【说明】不同原料的亚硫酸氢镁红液的相对密度和浓度的关系见表 1-11-1；在不同温度下测定的亚硫酸氢镁红液的波美度与 15℃ 时的波美度的关系式见下。

【公式】针叶木红液： $^{\circ}\text{Bé}(15^{\circ}\text{C}) = ^{\circ}\text{Bé}(t) + 0.062(t - 15) - 0.32$ (1-11-1)

阔叶木红液： $^{\circ}\text{Bé}(15^{\circ}\text{C}) = ^{\circ}\text{Bé}(t) + 0.056(t - 15) - 0.16$ (1-11-2)

芦苇红液： $^{\circ}\text{Bé}(15^{\circ}\text{C}) = ^{\circ}\text{Bé}(t) + 0.058(t - 15) - 0.32$ (1-11-3)

表 1-11-1 亚硫酸氢镁红液的相对密度和浓度的关系

落叶松		马尾松		杨木		鱼鳞松		芦苇	
相对密度 (20℃)	固形物 (%)	相对密度 (20℃)	固形物 (%)	相对密度 (20℃)	固形物 (%)	相对密度 (20℃)	固形物 (%)	相对密度 (20℃)	固形物 (%)
1.085	15.40	1.088	17.92	1.058	11.34	1.062	12.68	1.057	10.82
1.118	22.68	1.139	26.69	1.118	23.26	1.125	25.76	1.093	17.74
1.174	31.79	1.186	34.95	1.194	37.28	1.177	34.61	1.157	28.14
1.228	39.40	1.243	44.07	1.257	47.70	1.222	42.62	1.233	44.69
1.268	36.42	1.264	48.93	1.281	49.26	1.265	47.48	1.310	54.24
1.308	53.32	1.278	—	1.325	55.73	1.276	52.84	1.331	55.58

(二)镁盐红液相对密度、波美度与固形物含量的关系

【说明】参见表 1-11-2。

表 1-11-2 镁盐红液相对密度、波美度与固形物含量之间的关系

固形物含量(g/L)	相对密度	波美度(°Bé)
25	1.013	1.0
50	1.025	3.0
75	1.037	5.0
100	1.048	6.2
125	1.060	8.0
150	1.070	9.1
200	1.088	11.5
300	1.125	15.8
400	1.165	19.8
500	1.205	24.0
600	1.242	28.0
700	1.282	31.5

(三)酸性亚硫酸钙红液

【说明】酸性亚硫酸钙红液的相对密度与固形物浓度的关系见表 1-11-3；不同硬度

的纸浆酸性亚硫酸钙红液相对密度和浓度的关系见图 1-11-1。

表 1-11-3 酸性亚硫酸钙红液的相对密度和浓度的关系

相 对 密 度 (15℃)	红 液 中 固 形 物			
	硬 浆		软 浆	
	g/L	g/kg	g/L	g/kg
1.037	77.1	74.3	85.6	82.5
1.052	113.2	107.6	120.8	114.8
1.075	162.3	151.01	178.2	165.8
1.116	260.7	233.6	282.4	253.0
1.162	374.0	321.9	392.1	337.4
1.210	490.1	405.0	513.4	424.3
1.263	631.5	500.0	658.0	521.0
1.320	800.5	606.4	834.2	632.0

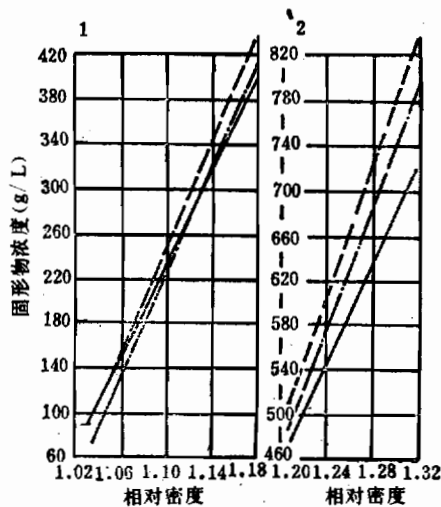


图 1-11-1 酸性亚硫酸钙红液相对密度和浓度的关系

----软浆 —•—硬浆 —按公式: $d = 1 + 0.44 C$
 d —20℃时红液的相对密度 C —固形物浓度(kg/L)

(四)红液的相对密度、浓度与温度的关系

【说明】 参见图 1-11-2。红液相对密度与温度的关系是近乎直线形的,温度升高,相对密度降低。一般认为,温度每升高 10℃,相对密度平均降低 0.004。而且,大约在 40%浓度以下,温度升高时,比重的降低更是非常接近的。

表 1-11-4 镁盐红液固形物的元素组成

项 目	亚硫酸氢镁落叶松浆红液	亚硫酸氢镁芦苇浆红液	酸性亚硫酸钙白松浆红液
灰分(%对干固体)	13.81	14.1	19.10
红液浓度(%)	49~53	45~50	
元素组成(%对干固体)			
C	35.28	33.81	42.71
H	3.59	4.32	4.45
O	36.11	42.54	30.29
S	11.21	4.88	3.34
N		0.35	0.11
固形物发热量(kJ/kg)	14067.6	13355.9~15658.6	17417.1

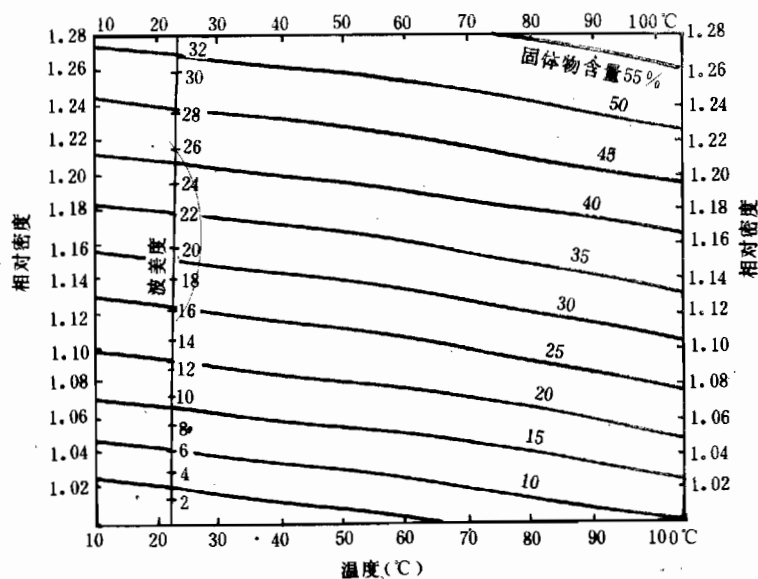


图 1-11-2 红液相对密度、浓度与温度的关系

二、镁盐红液固形物的元素组成

【说明】 镁盐红液固形物的元素组成及固形物发热量见表 1-11-4。

三、红液的粘度计算

(一)亚硫酸氢镁红液的粘度计算

【说明】 不同温度下,不同原料的亚硫酸氢镁红液的浓度和粘度的关系如图 1-11-3、1-11-4、1-11-5、1-11-6 和 1-11-7。

【公式】 云杉:

$$\lg \eta = 0.694 - 0.269T + 0.256C + 0.013T^2 - 0.007C^2 - 0.028TC \quad (1-11-4)$$

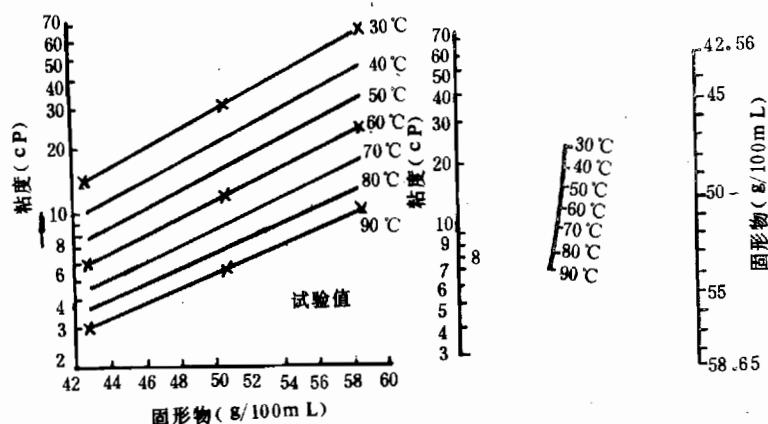


图1-11-3 亚硫酸氢镁云杉红液不同浓度、温度和粘度的关系

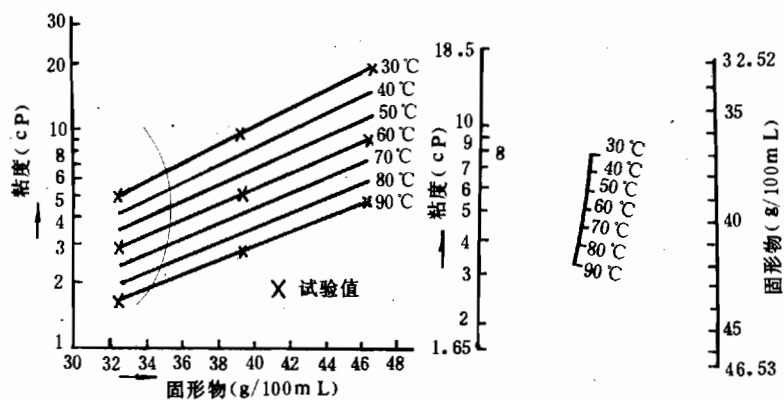


图1-11-4 亚硫酸氢镁马尾松红液不同浓度、温度和粘度的关系

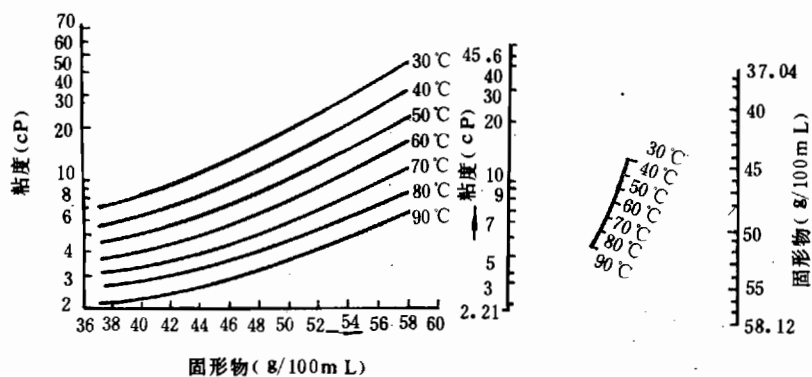


图1-11-5 亚硫酸氢镁落叶松红液不同浓度、温度与粘度的关系

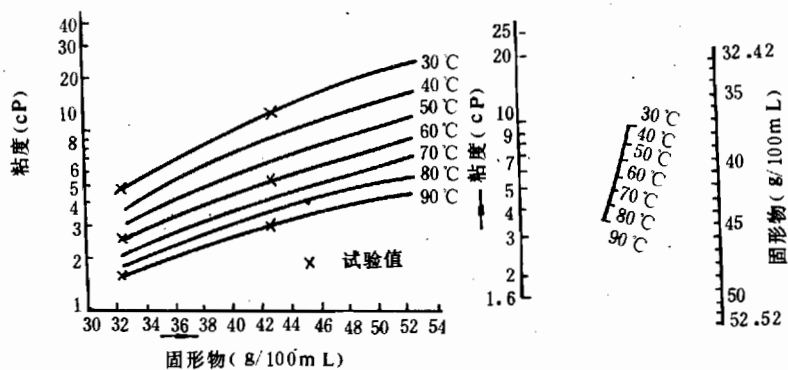


图1-11-6 亚硫酸氢镁杨木红液不同浓度、温度与粘度的关系

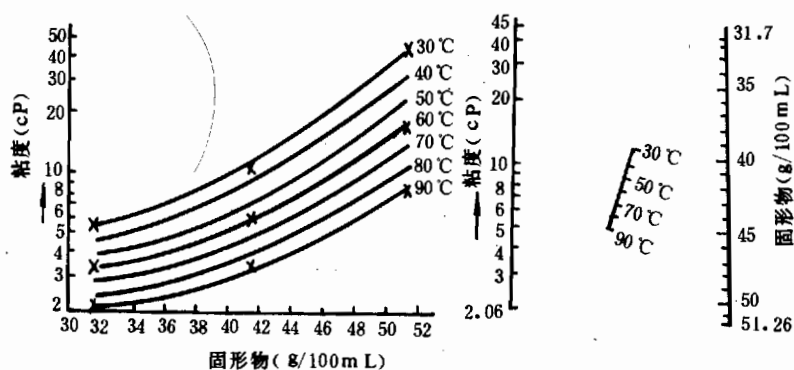


图1-11-7 亚硫酸氢镁芦苇红液不同浓度、温度与粘度的关系

马尾松:

$$\lg \eta = 1.079 - 0.374T + 0.308C + 0.046T^2 - 0.002C^2 - 0.038TC \quad (1-11-5)$$

落叶松:

$$\lg \eta = 0.815 - 0.332T + 0.324C + 0.028T^2 + 0.0079C^2 + 0.079TC \quad (1-11-6)$$

杨木:

$$\lg \eta = 0.739 - 0.305T + 0.29C + 0.054T^2 - 0.051C^2 - 0.06TC \quad (1-11-7)$$

芦苇:

$$\lg \eta = 0.771 - 0.278T + 0.391C + 0.019T^2 + 0.119C^2 - 0.074TC \quad (1-11-8)$$

以上各式中:

η —— 粘度(cP)

T —— 温度(°C), 码子值:

$$T = \frac{\text{原始温度} - \text{平均温度}}{\text{区间温度}}$$

C —— 红液中固形物含量(g/100mL), 码子值:

$$C = \frac{\text{原始含量} - \text{平均含量}}{\text{区间含量}}$$

【例】 苇浆红液, 选用 C 为 31.8、41.5、51.2 g/100mL; T 为 30、60、90°C, 求粘度。

解: C 的平均值 = $\frac{31.8 + 41.8 + 51.2}{3} = 41.5$ (g/100mL)

C 的区间值 = $51.2 - 41.5 = 9.7$ (g/100mL) 或 $41.5 - 31.8 = 9.7$ (g/100mL)

T 的平均值 = $\frac{30 + 60 + 90}{3} = 60$ (°C)

T 的区间值 = $90 - 60 = 30$ (°C)

或 $60 - 30 = 30$ (°C)

如求 60°C、41.5 g/100mL 时的粘度, 则:

$$C \text{ 的码子值} = \frac{41.5 - 41.5}{9.7} = 0$$

$$T \text{ 的码子值} = \frac{60 - 60}{30} = 0$$

代入式1-11-8,得:

$$\lg \eta = 0.771, \eta = 5.9(\text{cP}) = 5.9 \times 10^{-3}(\text{Pa} \cdot \text{s})$$

如求30℃、46g/100mL时的粘度,则:

$$C \text{ 的码子值} = \frac{46-41.5}{9.7} = 0.464$$

$$T \text{ 的码子值} = \frac{30-60}{30} = -1$$

代入式1-11-8,得:

$$\lg \eta = 1.309, \eta = 20.33(\text{cP}) = 2.03 \times 10^{-2}(\text{Pa} \cdot \text{s})$$

(二)酸性亚硫酸盐红液的粘度计算

【说明】 木素磺酸钙溶液的粘度见表1-11-5;确定红液粘度的列线图见图1-11-8。

表1-11-5 木素磺酸钙溶液的粘度

温度(℃)	不同固形物浓度(%)时的粘度(cP)						
	10	20	30	35	40	45	50
0	3.02	5.56	13.38	—	60.35	—	—
5	2.51	4.56	9.95	—	27.58	—	—
10	2.22	3.74	8.32	—	20.40	—	—
15	1.89	3.25	6.68	—	22.20	—	—
20	1.4	2.5	—	12.5	—	235	515
40	1.0	1.6	—	5.5	—	85	135
60	0.7	1.2	—	3.7	—	11	43
80	0.6	0.9	—	3.0	—	8	20

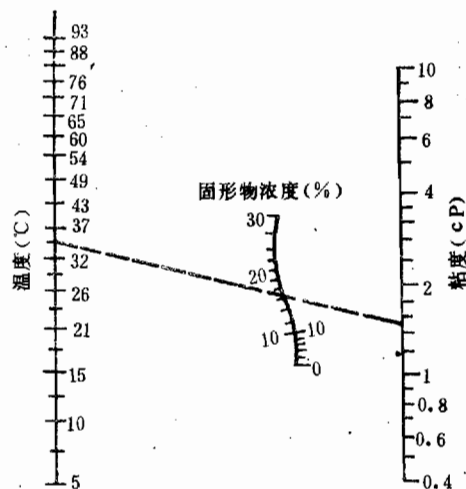


图1-11-8 酸性亚硫酸盐红液的粘度

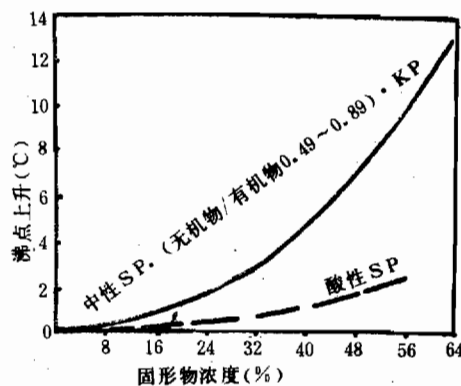


图1-11-9 红液沸点上升与固形物含量的关系

四、红液的冰点和沸点的变化计算

(一)红液的冰点的变化计算

【说明】 红液的冰点随固形物含量的增加而降低,见表1-11-6。

【公式】 $\Delta t = -150(d-1)^2$

(1-11-9)

式中 Δt ——冰点降低量(°C)

d ——红液的相对密度

表1-11-6

红液的冰点降低与相对密度的关系

红液相对密度	冰 点 的 降 低(°C)		
	硬浆红液	软浆红液	酒 糟
1.037	0.1	0.2	0.3
1.052	0.4	0.5	0.5
1.072	0.8	1.1	0.9
1.116	2.0	2.3	2.0
1.210	3.2	4.1	3.2
1.263	8.7	10.6	9.7
1.320	14.3	19.0	16.6

(二)红液的沸点变化计算

【说明】 红液沸点的上升与固形物含量的关系见图1-11-9;红液的沸点与相对密度的关系见表1-11-7。

表1-11-7

红液的沸点与相对密度的关系

相对密度	1.00	1.09	1.18	1.38
沸点(°C)	100	104	106	110

五、红液的热容量(比热)计算

【说明】 红液的热容量 C_p 随固形物含量的增加而降低。

【公式】 $C_p = 0.97 - 0.004C$ (1-11-10)

或 $C_p = (\frac{1.443}{d} - 0.443) \times 4.1868$ (1-11-11)

或 $C_p = [(1 - C) + 0.3C] \times 4.1868$ (估算式) (1-11-12)

式中 C_p ——热容量[kJ/(kg·°C)]

C ——红液的固形物含量(%)

d ——20°C时红液的相对密度

六、红液的发热量

【说明】 当纸浆得率在35%~50%之内时,亚硫酸盐浆和硫酸盐浆废液中有机物的总发热量,大约都是 2.3×10^4 kJ/kg(500kcal/kg)。而不同浓度和灰分下废液的发热量 则可由图1-11-10查得。

【例】 当废液固形物灰分为20%,含水量40%的浓缩液的发热量大约是 1.09×10^4 kJ/kg(2600kcal/kg)。

七、红液的导热系数

【说明】 不同固形物含量的红液在不同温度时的导热系数 λ 见图1-11-11;不同温度时红液的普兰特(Pr)准数见图1-11-12。

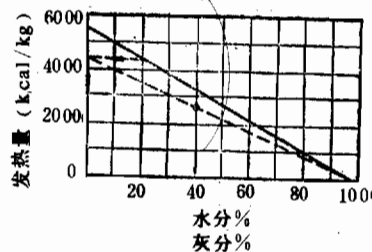


图1-11-10 红液发热量和灰分、水分的关系

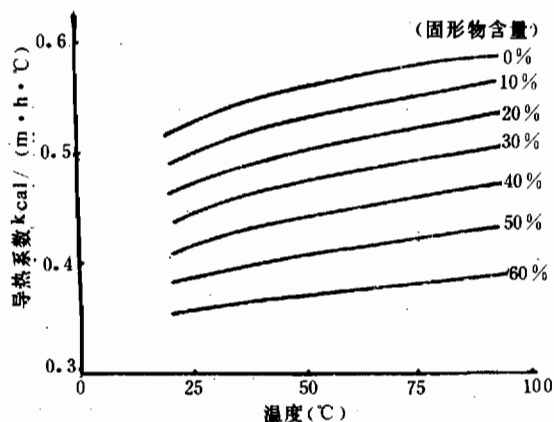


图1-11-11 红液的导热系数

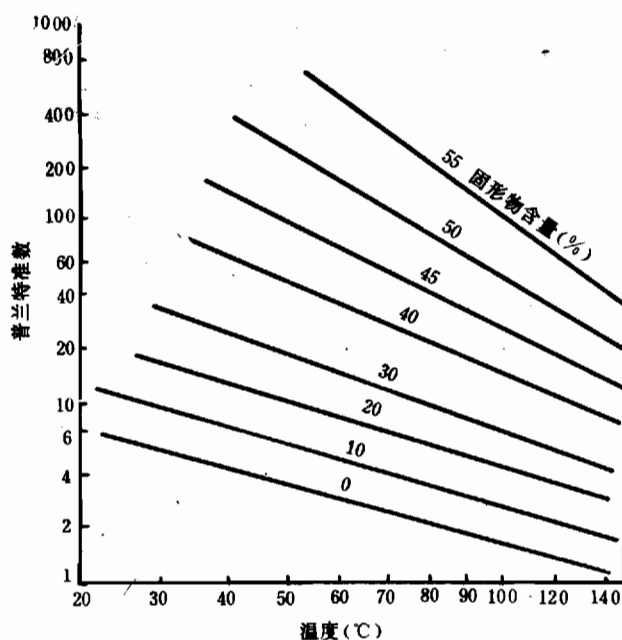


图1-11-12 红液的普兰特(Pr)准数

第二节 红液的蒸发工艺计算

一、背压蒸发系统平衡计算及示例

【说明】 该蒸发系统蒸发温度最高,热效率最高,可用于钠盐基红液的蒸发。但二次蒸汽量大,需进行回收利用,还需自备电站;另外由于 CaSO_4 及有机垢比真空蒸发系统严重,需用强酸清洗。

【例】背压蒸发系统工艺流程及已知数据见图1-11-13,试进行简单计算。

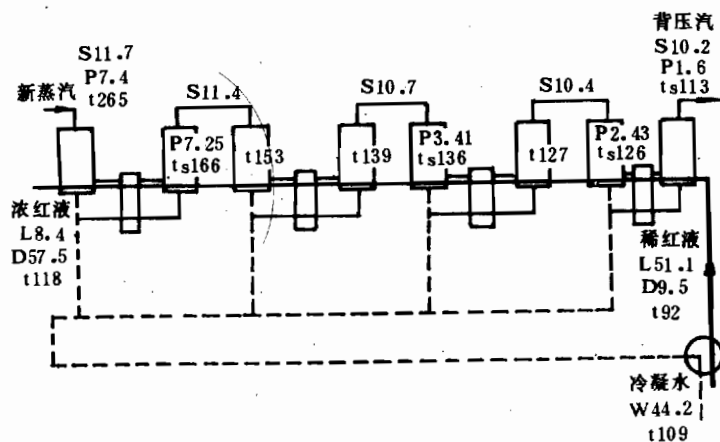


图1-11-13 背压蒸发系统流程图

S—蒸汽(t/h) P—绝对压力 L—红液(t/h) t—温度(°C) W—水(t/h) t_s —饱和温度(°C) D—浓度(%)

解:蒸发水量=稀红液量-浓红液量

$$=51.1-8.4=42.7(\text{t/h})$$

$$\text{蒸发效率}=\frac{42.7}{11.7 \times 10.2}=28.5(\text{t 水/t 汽})$$

$$\text{固形物量}=51.1 \times 9.5\%=4.85(\text{t/h})$$

$$\text{或}=8.4 \times 57.5\%=4.85(\text{t/h})$$

$$\text{蒸发用热量}=\frac{11.7 \times 712-644 \times 10.2}{42.7}$$

$$=41.25(\text{kcal/kg 水})=175(\text{kJ/kg 水})$$

二、四效真空蒸发平衡计算及示例

【说明】该蒸发系统温度最低,二次蒸汽用水冷凝,热效率最低。适用于镁盐红液蒸发。

【例】某四效真空蒸发系统工艺流程及已知数据见图1-11-14。试进行有关计算。

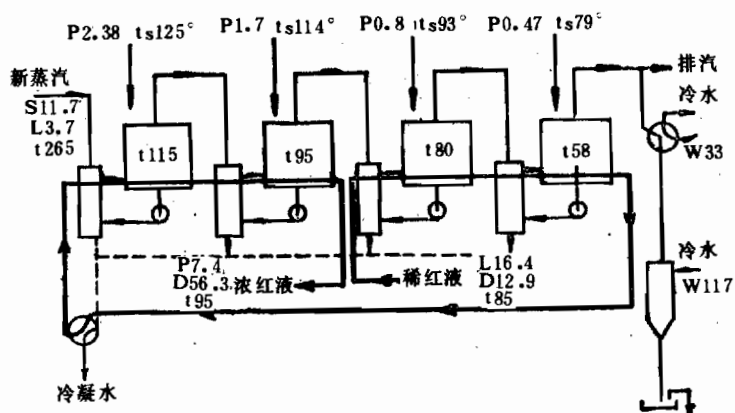


图1-11-14 四效真空蒸发流程图

S—蒸汽(t/h) D—浓度(%) L—红液(t/h) P—压力(绝对压力) W—水(t/h) t—温度(°C) t_s —温度(°C)

解:蒸发水量=稀红液量-浓红液量

$$=16.4-3.7=12.7(\text{t/h})$$

$$\text{蒸发效率} = \frac{12.7}{3.45} = 3.67 (\text{t 水/t 汽})$$

$$\text{固形物量} = 16.4 \times 12.9 = 2.12 (\text{t/h})$$

$$\text{或} = 3.7 \times 56.3\% = 2.06 (\text{t/h})$$

$$\begin{aligned} \text{蒸发用热量} &= \frac{660 - 100}{3.67} = 153 (\text{kcal/kg 水}) \\ &= 640.58 (\text{kJ/kg 水}) \end{aligned}$$

三、热泵蒸发系统平衡计算及示例

【说明】 热泵蒸发系统的特点是自用二次蒸汽，并联用汽；二次蒸汽压缩机的驱动方式可根据不同情况采用电、汽轮机驱动。

【示例】 热泵蒸发系统工艺流程及已知数据见图1-11-15。

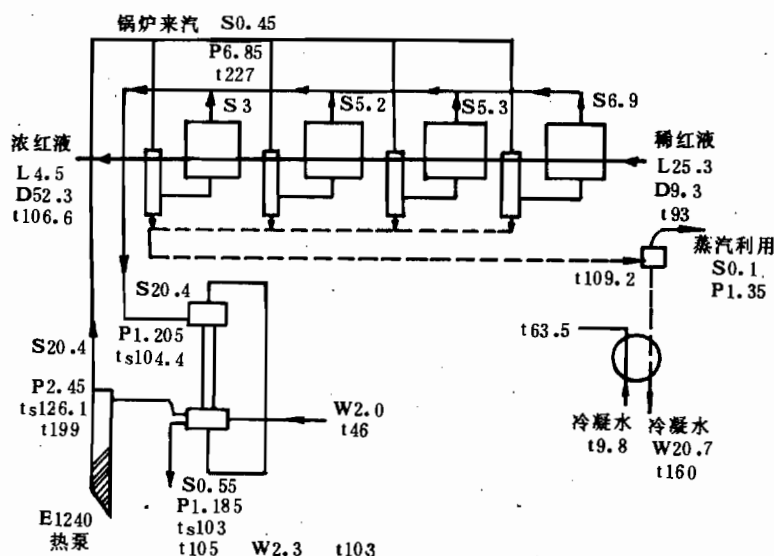


图1-11-15 热泵蒸发系统流程图

S—蒸汽(t/h) P—绝对压力 L—红液(t/h) t—温度(°C) W—水(t/h) t_s—饱和温度(°C) D—浓度(%)

计算：①蒸发水量=稀红液量-浓红液量

$$= 25.3 - 4.5 = 20.8 (\text{t/h})$$

$$\text{②蒸发效率} = \frac{20.8}{0.45} = 46.2 (\text{t 水/t 汽})$$

$$\text{③固形物量} = 25.3 \times 9.3\% = 2.353 (\text{t/h})$$

$$\text{或} = 4.5 \times 52.3\% = 2.353 (\text{t/h})$$

$$\text{④二次蒸汽总量} = 3 + 5.2 + 5.3 + 6.9 = 20.4 (\text{t/h})$$

$$\text{⑤二次蒸汽加压前热量} = 6407 (\text{kcal/kg})$$

$$= 2682.5 (\text{kJ/kg})$$

$$\text{⑥二次蒸汽加压后热量} = 685 (\text{kcal/kg})$$

$$= 2868 (\text{kJ/kg})$$

$$\text{⑦增加热量} = 685 - 640.7 = 44.3 (\text{kcal/kg})$$

$$= 185 (\text{kJ/kg})$$

$$\textcircled{8} \text{二次总热量} = 44.3 \times 1000 \times 20.4 = 904000 (\text{kcal/kg})$$

$$= 3784867 (\text{kJ/kg})$$

$$\textcircled{9} \text{加新蒸汽热量} = 0.45 \times 1000 \times 700 = 315000 (\text{kcal/h})$$

$$= 1318842 (\text{kJ/h})$$

$$\text{I 总热量} = 904000 + 315000 = 1219000 (\text{kcal/h})$$

$$= 5103709 (\text{kJ/h})$$

$$\textcircled{11} \text{蒸发用热量} = \frac{1219000}{20800} = 58.6 (\text{kcal/kg 水})$$

$$= 245.35 (\text{kJ/kg 水})$$

⑫热量的增加(仅从新蒸汽计算,不计压缩后热量的增加):

$$= \frac{315000}{20800} = 15 (\text{kcal/kg 水})$$

$$= 62.8 (\text{kJ/kg 水})$$

第三节 红液的燃烧工艺计算

一、亚硫酸镁法苇浆红液燃烧计算及实例

【说明】 计算以1kg 固形物含量为基数。

【实例】 已知条件:

红液固形物组成(元素分析)

C(%):35.32

H(%):4.84

O(%):37.04

灰分(%):13.66

S(%):9.24

空气中 O₂ 含量(%):23

空气中 N₂ 含量(%):77

湿炉气中水分容积(%):38.2

计算:①理论空气用量

$$G = \frac{32}{12 \times 23\%} \times 35.32\% + \frac{16}{2 \times 23\%} \times 4.84\% + \frac{9.24\% - 37.04\%}{23\%}$$

$$= 4.1 + 1.68 - 1.21 = 4.57 (\text{kg 空气/kg 固形物})$$

②炉气的组成

设过剩空气系数 $\alpha = 1.1$, 则:

空气重 $= 1.1 \times 4.57 = 5.027 (\text{kg})$

其中过剩空气重 $= 4.57 \times 10\% = 0.457 (\text{kg})$

空气体积 $= \frac{1000 \times 5.027}{1.293} = 3890 (\text{l})$

炉气组成:

CO₂: $35.32\% \times 1000 \times \frac{44}{12} = 1296 (\text{g})$

$$\text{H}_2\text{O}: 4.84\% \times 1000 \times \frac{18}{2} = 435(\text{g})$$

$$\text{SO}_2: 9.24\% \times 1000 \times \frac{64}{32} = 185(\text{g})$$

$$\text{N}_2: 4.57\% \times 1000 \times 77\% = 3520(\text{g})$$

$$\text{过剩空气中 } \text{N}_2 = 0.457\% \times 1000 \times 77\% = 352(\text{g})$$

$$\text{过剩空气中 } \text{O}_2 = 0.457\% \times 1000 \times 23\% = 105(\text{g})$$

$$\text{红液中水分} = \frac{0.6}{0.4} \times 1000 = 1500(\text{g}) \text{ (设浓度为40\%)}$$

③炉气密度

$$\text{干炉气密度} = \frac{1296 + 435 + 185 + 3520}{3890} = 1.4(\text{g/L})$$

$$\begin{aligned} \text{湿炉气密度} &= \frac{1929 + 453 + 185 + 3520 + 352 + 105 + 3500}{3890} \\ &= \frac{7393}{6294.5} = 1.175(\text{g/L}) \end{aligned}$$

二、炉气中过剩空气率的计算

【公式】

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \times \frac{\text{O}_2 - 0.5\text{CO}}{100 - (\text{RO}_2 + \text{O}_2 + \text{CO})}} \quad (1-11-13)$$

式中 α —— 过剩空气率(系数)(用小数表示)

O_2 、 CO 、 RO_2 —— 分别表示炉气中该气体的容积含量(%)

【讨论】 当炉气中 $\text{CO} = 0\%$ ，且 $\text{RO}_2 + \text{O}_2 = 21\%$ 时，式1-11-13可简化为：

$$\alpha = \frac{21}{21 - \text{O}_2} \quad (1-11-14)$$

三、硫化床燃烧红液的计算及实例

【说明】 红液燃烧炉大致可分为两类：一类是常用的箱式炉和旋风炉，其特点是燃烧时间短，因此要求红液喷雾粒度细，液浓和进风温度较高，炉温较高，必要时需用辅助燃料；另一类是近年来发展的硫化床式燃烧炉(沸腾炉)，其特点是红液热分解后细粒反应时间短，并随炉气带走，而粗粒则在硫化床中沸腾，反应时间长，因此对红液喷雾的细度要求不太严格；又由于硫化床的炉料贮存热量多，炉温和红液浓度可比一般炉子稍低些，而且在正常运行中不需辅助燃料。

(一)国外硫化床燃烧红液计算实例

【实例】 国外某厂硫化床燃烧红液计算条件及步骤如下：

已知条件：

日产未漂浆：140t/d(最高180t/d)

硫化床炉内径：7015mm(可扩大到7625mm)

硫化床面积：38.7m²(可扩大到45.6m²)

硫化床高度：15.25m

硫化床总热负荷：1.256×108kJ/h(3×107kcal/h)

悬浮层热炉气空间速度:0.6~0.9m/s

空气量:320标准 m³/min

空气压力:1.55绝对大气压

鼓风机用汽轮机驱动

空气进口压力:11个绝对大气压

出口压力:2.35绝对大气压

出口蒸汽送 I 效蒸发器

炉内温度:900℃

硫化床物料粒度:0.25~2.00mm

炉气中 SO₂浓度约1.5%

喷液速度:0.15~0.2m³/min(86.4~121t 固形物/d)

红液浓度:40~42%

计算步骤结果:

①每 m²硫化床床面燃烧红液量(以产浆量表示):

$$\frac{140}{38.7} = 3.68[\text{t 浆}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$$

$$= 0.15[\text{t 浆}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

②每小时床面喷液量:

$$\frac{(0.15 \sim 0.2) \times 60}{38.7} = 0.232 \sim 0.31[\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

$$= 0.0928 \sim 0.13[\text{t 固形物}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

③吨浆产红液量:

$$\frac{\text{浓红液量}}{\text{吨浆}} = 1.55 \sim 2.06(\text{m}^3/\text{t 浆})$$

④空气量:

$$320 \times 60 = 19200(\text{标准 m}^3/\text{h})$$

小时产浆量

$$\frac{140}{24} = 5.83(\text{t/h})$$

单位浆料空气量:

$$\frac{19200}{5.83} = 3300(\text{标准 m}^3/\text{t 浆})$$

$$= 3.3(\text{标准 m}^3/\text{kg 浆})$$

$$= 4.27(\text{kg}/\text{kg 浆})$$

⑤硫化床空气空间线速

空气温度:200℃

$$\text{空气体积: } 320 \times \frac{273+200}{273} = 320 \times 1.73 = 554(\text{m}^3/\text{mm})$$

$$= \frac{554}{60} = 9.23(\text{m}^3/\text{s})$$

硫化床截面:38.7m²

$$\text{热空气空间线速: } \frac{9.23}{38.7} = 0.238(\text{m/s})$$

⑥悬浮层截面与直径:

设炉气温度:900℃

炉气与空气的体积比:1.62

炉气量: $1.62 \times 320 = 518$ (标准 m^3/mm)

热炉气量: $\frac{518}{24} \times \frac{273+900}{273} = 93$ (m^3/s)

设悬浮层炉气线速为0.9m/s,则悬浮层面积: $\frac{93}{0.9} = 103.3$ (m^2)

悬浮层与硫化床面积比: $\frac{103.3}{38.7} = 2.66$

(二)国内某厂以硫化床试烧红液中间试验计算及实例:

①设备特征

硫化床高2m,布风板直径1.1m,面积0.95 m^2 ;

扩散悬浮段直径2m,面积3.14 m^2 ,高5.5m;

悬浮层与布风板面积比: $\frac{3.14}{0.95} = 3.3$;

炉膛总容积19.4 m^3 ;

硫化床布风板面积与炉膛总容积之比为1:20;

布风帽数59个,风帽开孔 $\Phi 7 \times 8\text{mm}$;

进风小孔总面积0.0183 m^2 ,开孔率: $\frac{0.0183}{0.95} = 1.93\%$;锥角43.60°。

②炉料

石英砂、堆积密度1.542 g/cm^3 ,粒径及比例:

粒径(mm)	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9
比例(%)	1.5	61.8	30.1	5.1	2.6

静止时料层厚680~730mm

③试验用苇浆红液固形物元素分析:

C:33.81% H:4.32%

N:0.35% S:4.83%

O:42.54% 灰分:14.15%

发热量13355.9 kJ/kg (3190 kcal/kg)

对100 kg 固形物的用氧量:

C: $\frac{33.81}{12} \times 22.4 = 63.20$ (m^3)

H: $\frac{4.32}{2} \times 22.4 = 48.40$ (m^3)

S: $\frac{4.83}{32} \times 22.4 = 3.38$ (m^3)

合计:114.98(m^3)

减去固形物中的氧: $\frac{42.54 \times 22.4}{32} = 29.80$ (m^3)

燃烧时需加氧: $114.98 - 29.80 = 85.18$ (m^3)

折算成空气量: $\frac{85.18}{21\%} = 405$ (m^3) = 522(kg)

试烧过程中,每小时平均有275 kg 的固形物喷入硫化床燃烧炉,理论空气量为:

$$\frac{405 \times 275}{100} = 1115 (\text{m}^3/\text{h})$$

采用过剩空气率为1.1,则实际空气量为:

$$1115 \times 1.1 = 1228 (\text{m}^3/\text{h}) = 20.4 (\text{m}^3/\text{min})$$

④设一次风进风温度为140℃,风量占70%,设二次风进风温度为55℃,风量占30%,

则:

$$\text{一次风量为: } 1228 \times 70\% \times \frac{273+140}{273} = 1300 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$\text{布风板小孔空气流速: } \frac{1300}{3600+0.0183} = 19.75 (\text{m/s})$$

$$\text{布风板空间速度: } \frac{1300}{3600 \times 0.95} = 0.38 (\text{m/s})$$

⑤设红液浓度50%,炉温1000℃,空气湿含量0.01kg/kg干空气,则:

$$\text{随空气进入的水分量: } 4.05 \times 1.1 \times 1.293 \times 0.01 = 0.0577 (\text{kg})$$

随红液进入的水量为1kg

燃烧1kg的红液固形物所形成的炉气体积:

$$\text{CO}_2 = \frac{0.3381}{12} = 0.0283 (\text{mol})$$

$$\text{SO}_2 = \frac{0.0483}{32} = 0.0015 (\text{mol})$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{0.0432}{2} + \frac{0.0577}{18} + \frac{1}{18} = 0.0804 (\text{mol})$$

$$\text{N}_2 = \frac{5.22 \times 1.1 \times 0.77}{28} = 0.158 (\text{mol})$$

$$\text{O}_2 = \frac{0.522 \times 0.23}{32} = 0.00375 (\text{mol})$$

$$\text{总计: } \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + \text{N}_2 = 0.272 (\text{mol})$$

$$\text{或 } 0.272 \times 22.4 \times \frac{273+1000}{273} = 28.4 (\text{m}^3 \text{热炉气})$$

$$\text{以每小时燃烧275kg固形物计,悬浮层气流速度: } \frac{275 \times 28.4}{3.14 \times 1^2 \times 3600} = 0.69 (\text{m/s})$$

$$\text{⑥干炉气 SO}_2 \text{ 浓度: } \frac{0.0015}{0.272 - 0.0804} = 0.78\%$$

$$\text{⑦湿炉气含水: } \frac{0.0804}{0.272} = 29.6\%$$

第四节 红液的综合利用计算

一、铁铬木素磺酸盐的制备计算

【说明】 铁铬木素磺酸盐,俗称铁铬盐,是一种性能优良的钻井泥浆处理剂,特别是泥浆在高温和遇到石膏、岩盐、海水等侵入时,能起到稳定作用。

(一)铁铬混合液的配制

【说明】 向混合罐中加入1200L水,浓硫酸(93%)200L,FeSO₄·7H₂O(纯度90%)840kg,Na₂Cr₂O₇·2H₂O(纯度98%)150kg。混合搅拌均匀,然后放入混合液贮槽中备用。配

制的混合液的氧化当量浓度 C 为 3.1~3.1, 置换当量浓度 C 为 6.1~6.3。

(二) 置换氧化反应操作顺序

【说明】向反应罐中加入浓度为 42% (相对密度 1.214) 左右的酒糟浓缩物 1.7m³, 利用反应罐的夹套 (用水冷却或通汽加热) 调整其温度在 50~60℃, 在强力搅拌下均匀地缓慢加入混合液, 加入时间一般控制在 30min。

(三) 混合液用量计算

【公式】

$$V_{混} = \frac{VdAe}{100C} \quad (1-11-15)$$

式中 $V_{混}$ —— 混合液用量 (L)

V —— 浓缩物体积 (L)

d —— 浓缩物相对密度

A —— 浓缩物浓度 (%)

e —— 浓缩物中钙的当量, 一般为 2.9~3.0 当量/kg 固形物

C —— 混合液置换当量浓度

【例】已知 $V = 1700L$, $d = 1.214$, $A = 42\%$, $e = 2.9$, $C = 6.2$ 时, 求 $V_{混}$ 。

$$\text{解: } V_{混} = \frac{1700 \times 1.214 \times 42 \times 2.9}{6.2 \times 100} = 405 (L)$$

(四) 产品的氧化度计算

【公式】

$$D = \frac{V_{混} C' \times 100}{VdA} \quad (1-11-16)$$

式中 D —— 氧化度, 一般为 1.4~1.8

C' —— 混合液的氧化当量浓度

其它同上

【例2】计算例1中当 $C' = 3.2$ 时的氧化度。

$$\text{解: } D = \frac{405 \times 3.2 \times 100}{1700 \times 1.214 \times 42} = 1.495$$

【注意】如果计算的产品氧化度低于或高于工艺规定的氧化度, 应在配制混合液时, 增加或减少重铬酸钾的量。

二、酒精的制备中和剂的理论用量计算

【说明】红液经中和并冷却到一定的温度, 在酵母菌的作用下, 其中的己糖被分解为酒精和二氧化碳, 从蒸煮后的浆料中提取的红液, 由于温度和酸度过高, 不能直接用于发酵, 通常应对其酸度进行中和, 中和剂常用石灰乳, 其用量计算如下:

$$\text{【公式】} \quad G = 0.028(A - V) \quad (1-11-17)$$

式中 G —— CaO 的理论用量 (kg/m³)

A —— 中和前红液的酸度 (mL), 指 100mL 红液消耗 0.1N NaOH 溶液的毫升数, 一般在 1.0~2.5 之间, pH 在 2 左右

V —— 中和后红液酸度 (mL), 表示方法同 A , 一般在 0.1~0.2 mL, pH 在 4.8~5.5 之间。

第十二章 打浆工艺与设备的计算

第一节 打浆的特性计算

一、打浆设备的有效刀边长度计算

【说明】 打浆设备的有效刀边长度是计算比刀边负荷的重要参数。

【公式】

$$L = NZ_r Z_s Y \quad (1-12-1)$$

式中 L ——有效刀边长度(m/s)

N ——转数(r/s)

Z_r ——转子的刀片数目

Z_s ——定子刀片数目

Y ——平均刀片接触长度(m)

二、打浆有效动力的计算

【说明】 测量打浆设备的动力消耗需要用电度表,因为电动机的电流表(A)的读数没有多少用处。

【公式】

$$P = P_1 - P_2 \quad (1-12-2)$$

式中 P ——浆料的有效动力(kW)

P_1 ——打浆设备运转时的总动力(kW)

P_2 ——无负载动力,即浆料循环时刀辊或转子与底刀或定子刀有一定的间隙时的动力(kW)

三、比刀边负荷的计算

【说明】 打浆机或精浆机的比刀边负荷是一项很有用的控制参数。对纸浆尽可能达到均匀的处理非常重要,因为这样可以获得最大的纸浆强度,同时在其它性质方面,可能达到最佳化。这就需要最小的处理强度,也就是最小的比刀边负荷与最大的冲击次数,即是有用的刀边长度。此时,可以最大程度地提高纤维比表面积和内部帚化,使纤维长度的减低降至最低程度,因此,纸页强度可能达到最大值。通常,比刀边负荷在 $2W \cdot S/m$ 以上时,纤维切断程度高;低于 $1W \cdot S/m$ 时,主要作用是纤维的分丝帚化。

【公式】

$$Se = 1000 \times \frac{P}{L} \quad (1-12-3)$$

式中 Se ——比刀边负荷($W \cdot S/m$)

P, L —— 同上

四、比打浆能量的计算

【说明】 比打浆能量是指单位重量绝干纤维的有效电能,通常以每 100kg 或每吨绝干纤维所消耗的电能表示。

【公式】

$$Bs = \frac{KSeL}{FC} \quad (1-12-4)$$

式中 Bs —— 比打浆能量[KW · h/t(或 100kg)]

K —— 因次常数

F —— 浆流速率

C —— 浆浓(%)

Se, L —— 同上

第二节 间歇打浆机的工艺计算

一、打浆机的性能指标计算

(一)打浆机的型号和主要技术特征

【说明】 我国通用的槽式打浆机的型号和主要技术特征见表 1-12-1。

表 1-12-1 打浆机的型号及主要技术特征

型 号	ZDC1	ZDC2	ZDC3	ZDC4
生产能力(kg/池)	150	250	350	500
容量(m ³)	3	5	7	10
刀辊尺寸(mm)	Φ1000×1250	Φ1350×1350	Φ1400×1000	Φ1500×1400
刀辊转速(r/min)	180	180	136	124
飞刀数量(把)	90	80(铜), 20(石)	78	87
底刀数量(组)	3(27 把)	3	1(14 把)	1(20 把)
洗鼓尺寸(mm)	—	八角形 1000×800 一个	Φ1000×1000 一个	Φ1200×1100 一个
功 用	处理成浆	处理成浆	处理半浆	处理半浆
外形尺寸(长×宽×高,mm)	6000×3600×1688	5875×4150×2500	7150×4250×2500	8370×4500×2800
排列方式	左、右手	左、右手	左、右手	左、右手
电动机型号	JR82-6	JR3250M-6	JR115-8	JR117-8
电动机功率(kW)	40	55	60	80

(二)打浆机的切断能力计算

【说明】 打浆机的切断能力可以用打浆机飞刀对底刀每秒钟切断纤维的刀口长度来表示,亦称切断速度。

【公式】

$$V = \frac{Z_1 Z_2 n L}{60} \cos \alpha_R \quad (1-12-5)$$

式中 V —— 切断能力(切断速度)(m/s)

Z_1 —— 飞刀数

Z_2 —— 底刀数

n —— 飞刀辊转速(r/min)

L —— 飞刀长度(飞刀辊宽度)(m)

α_g —— 底刀排列方向与飞刀辊轴线的夹角(度),当 $\alpha=0^\circ$ 时, V 值最大

【例1】 已知打浆机飞刀辊长度为1250mm,飞刀数为90把,底刀数为27把,飞刀辊转速为180r/min,底刀排列方向与飞刀辊轴线夹角可忽略,计算切断能力。

$$\begin{aligned}\text{解: } V &= \frac{Z_1 Z_2 n L}{60} \cos \alpha = \frac{90 \times 27 \times 180 \times 1.25}{60} \cos 0^\circ \\ &= 9112.5 (\text{m/s})\end{aligned}$$

(三) 飞刀与底刀接触面积的计算

【公式】

$$F = \frac{Z_1 Z_2 S_1 S_2 L}{\pi D \cos \alpha_g} \quad (1-12-6)$$

式中 F —— 飞刀与底刀的接触面积(m^2)

Z_1, Z_2 —— 飞刀数和底刀数

S_1, S_2 —— 飞刀厚度和底刀厚度(m)

L —— 飞刀长度(m)

D —— 飞刀辊直径(m)

α_g —— 底刀排列方向与飞刀辊轴线的夹角(度),当 $\alpha=0^\circ$ 时, F 最小

【例2】 已知打浆机刀辊尺寸为 $\Phi 1000 \times 1250\text{mm}$,刀辊转速为180r/min,飞刀90把,刀片厚8mm,底刀27把,刀片厚5mm, $\alpha \approx 0^\circ$,求飞底刀接触面积。

$$\begin{aligned}\text{解: } F &= \frac{Z_1 Z_2 S_1 S_2 L}{\pi D \cos 0^\circ} = \frac{90 \times 27 \times 0.008 \times 0.005 \times 1.25}{3.14 \times 1 \times \cos 0^\circ} \\ &= 0.038694 (\text{m}^2) \\ &= 386.94 (\text{cm}^2)\end{aligned}$$

(四) 打浆系数的计算

【说明】 切断速度与飞刀和底刀接触面积之比称为打浆系数,打浆系数可较全面地反映出打浆机的特性。打浆系数大时,宜打游离状浆;打浆系数小时,宜打粘状浆。

【公式】

$$f = \frac{V}{F} \quad (1-12-7)$$

式中 f —— 打浆系数 [$\text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

V, F —— 同上

【例3】 计算例1及例2中所述打浆机的打浆系数。

$$\text{解: } f = \frac{V}{F} = \frac{7891.43}{0.044681} = 1.77 \times 10^5 [\text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$$

(五) 打浆比压的计算

【说明】 打浆机的打浆比压(又称压碎比压)以飞刀与底刀接触的单位面积上的动压力表示。不同原料、不同打浆方式的打浆比压见表1-12-2。

【公式】

$$P = \frac{Gn}{F} = \frac{G \sin \beta}{[\sin(\alpha + \beta) + \mu \cos(\alpha + \beta)] F} \quad (1-12-8)$$

式中 P ——打浆比压(Pa)

F ——飞刀和底刀接触面积(m^2)

Gn ——飞刀辊作用在底刀上的动压力(N)

$$Gn = \frac{G \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta) + \mu \cos(\alpha + \beta)} \quad (1-12-9)$$

G ——飞刀辊的重力(N)

μ ——飞刀辊与浆料的摩擦系数参见表1-12-4;其值对飞刀辊作用在底刀上的动压力的影响见表1-12-3和图1-12-1。

α ——底刀排列方向与飞刀辊中心的垂线的夹角,见图1-12-2;其值与动压力 Gn 的关系见表1-12-4

β ——支撑飞刀辊的轴承臂与辊中心的垂线的夹角(度),见图1-12-2

表1-12-2 不同原料、不同打浆方式的打浆比压

打浆方式	原料种类	打浆比压	
		$10^5 Pa$	kg/cm^2
粘状浆	大量磨木浆细小纤维	0.49~0.98	0.5~1
	大部化学浆小部磨木浆	0.98~1.96	1~2
	硬浆	1.96~4.91	2~5
游离状浆	破布浆	2.94~5.89	3~6
	硬浆	3.92~7.85	4~8
	破布浆	9.81~24.5	10~25
	草类浆	5.89~9.81	6~10

表1-12-3 摩擦系数与飞刀辊作用在底刀上的动压力的关系

μ	Gn	μ	Gn	μ	Gn
0	1.15G	0.13	1.25G	0.23	1.33G
0.05	1.19G	0.15	1.265G	0.25	1.35G
0.07	1.205G	0.17	1.28G	0.27	1.37G
0.09	1.22G	0.19	1.3G	0.29	1.39G
0.11	1.23G	0.21	1.315G	0.31	1.41G

(当 $\alpha=30^\circ$ $\beta=90^\circ$ 时) G 为飞刀辊的重力

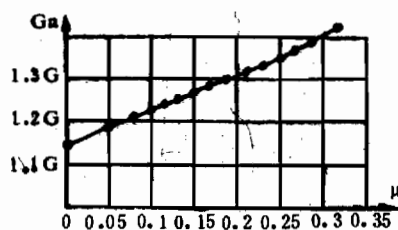


图1-12-1 摩擦系数 μ 与动压力 Gn 的关系

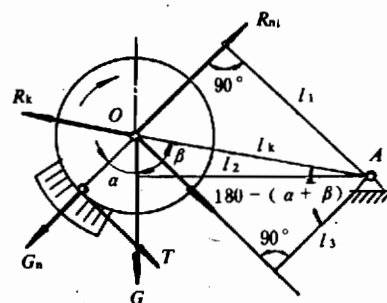


图1-12-2 飞刀辊作用在底刀上的动压力计算图

(六) 撕碎能力的计算

表1-12-4

底刀中心线偏角与动压力 G_n 的关系

α (度)	G_n	α (度)	G_n
10	1.025G	60	2.70G
20	1.12G	70	5.30G
30	1.27G	80	50G
40	1.50G	81	125G
50	1.89G	82	∞ G

注:假定 $\beta = 90^\circ$, $\mu = 0.15$, G 为飞刀辊重量。

【说明】撕碎能力表示打浆机打粘状浆的能力。其值为飞、底刀接触面积与飞刀辊线速度的乘积。

【公式】

$$H = Fu = VS_1S_2 \quad (1-12-10)$$

式中 H —— 撕碎能力(m^3/s)

F —— 飞刀和底刀的接触面积(m^2)

μ —— 飞刀辊线速度(m/s)

V —— 切断速度(切断能力)(m/s)

S_1 —— 飞刀厚度(m)

S_2 —— 底刀厚度(m)

【讨论】在有的文献中提出用下式表示撕碎能力,该式与式1-12-10所得出的单位不同,用哪一个公式表示比较合理尚待研究。

$$H = V(S_1 + S_2) \quad (1-12-11)$$

式中 H —— 撕碎能力(m^2/s)

其它同上

(七)刀口系数的计算

【说明】刀口系数是用来表示打浆方式的量,通常其值在5以下。当刀口系数 γ 值为5时,表示打游离状浆; γ 值为2.5时,打半粘状浆; γ 值为2时,打粘状浆; γ 值等于或小于1时,打特别粘状浆。

【公式】

$$\gamma = \frac{V}{H} = \frac{1}{S_1S_2} \quad (1-12-12)$$

式中 γ —— 刀口系数($1/\text{cm}^2$)

其它同上

【例】已知某打浆机飞刀片厚8mm,底刀片厚5mm,求刀口系数。

$$\begin{aligned} \text{解: } \gamma &= \frac{1}{S_1S_2} = \frac{1}{0.8 \times 0.5} = \frac{1}{0.4} \\ &= 2.5(1/\text{cm}^2) \end{aligned}$$

表明该打浆机可用于打半粘状浆。

(八)水化作用系数的计算

【说明】水化作用系数为刀口系数的倒数。表示打浆过程中纤维水化润胀的能力。水化作用系数越大,纤维就越容易水化润胀。

【公式】

$$K = \frac{1}{\gamma} = S_1 S_2 \quad (1-12-13)$$

式中 K ——水化作用系数(cm^2)

γ ——刀口系数($1/\text{cm}^2$)

S_1, S_2 ——飞刀片和底刀片的厚度(cm)

二、打浆机的生产能力计算

【公式】

$$G = VCn = qn \quad (1-12-14)$$

式中 G ——生产能力(t/d)

V ——打浆机容积(m^3)

C ——打浆浓度(%)

n ——每台打浆机每天打浆次数

q ——打浆机每盆的产量(t/盆)

三、打浆机所需台数的确定计算

【公式】

$$n = \frac{Q}{GK} \quad (1-12-15)$$

式中 n ——所需台数

Q ——需要处理的浆料量(t/d)

K ——设备利用系数,可取0.7~0.8

G ——单台设备的处理量(t/d),计算同式1-12-14,也可由表1-12-1查得

四、打浆辊线速度的计算

【公式】

$$u = \frac{\pi Dn}{60} \quad (1-12-16)$$

式中 u ——打浆辊线速度(m/s)

D ——打浆辊直径(包括刀槽深度)(m)

n ——打浆辊转速(r/min)

【例】 已知打浆机的飞刀辊直径为 $\Phi 1000\text{mm}$, 转速为 180r/min , 求打浆辊的线速度。

$$\begin{aligned} \text{解 } u &= \frac{\pi Dn}{60} = \frac{3.14 \times 1 \times 180}{60} \\ &= 9.42(\text{m/s}) \end{aligned}$$

五、打浆机的受力计算

(一)打浆机底刀受力计算

1. 重锤杠杆式调压装置的受力计算

【说明】 重锤杠杆式调压装置的受力情况如图1-12-3。平衡重锤的重量 W 通过杠杆使刀辊作用在底刀上的力发生变化。

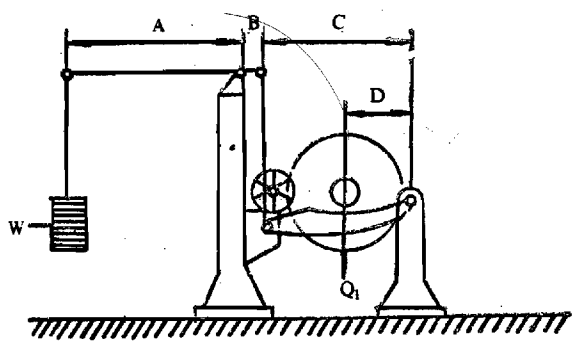


图1-12-3 重锤杠杆式调压装置受力图

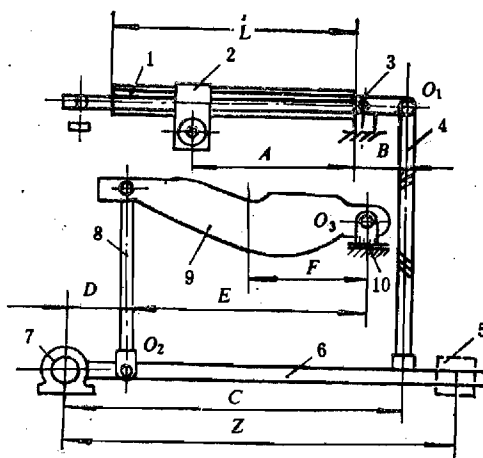


图1-12-4 打浆机衡重调压机构

1—平衡杆 2—游锤 W_1 3—支点 4—缓冲装置
5—重锤 W_2 6—加压杠杆 7—支点 8—连杆
9—飞刀辊轴承臂 10—飞刀辊轴承臂铰接点

【公式】

$$Q = Q_1 - Q_2 = Q_1 - KW \quad (1-12-17)$$

式中 Q —— 实际作用在底刀上的有效重力(N)

Q_1 —— 作用在底刀上的总重力(N)

Q_2 —— 由平衡重锤的重力 W 通过杠杆作用在刀辊上的力(N)

$$Q_2 = \frac{A \cdot C}{B \cdot D} W = KW \quad (1-12-18)$$

$\frac{A \cdot C}{B \cdot D}$ —— 常数, 以 K 表示, A 、 C 、 B 、 D 为各部分杠杆尺寸

W —— 平衡重锤的重力(N)

2. 衡重调压机构的受力计算

【说明】 打浆机衡重调压机构的受力情况如图1-12-4。它是借助于固定重量的游锤 W_1 和重锤 W_2 来调节飞刀辊作用在底刀上的压力的。游锤 W_1 用于减压, 重锤 W_2 用于加压。在进行计算时, 还要考虑各杠杆本身重量所产生的力矩。

【公式】

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 - Q_2 + Q_3 \\ &= Q_1 - K_1(W_1 A + \frac{1}{2} q) + K_2 Z W_2 \end{aligned} \quad (1-12-19)$$

式中 Q —— 实际作用在底刀上的有效重量(N)

Q_1 —— 作用在底刀上的总重量(N)

Q_2 —— 由游锤 W_1 和平衡杆 L 的重量 q 作用在飞刀辊的力(N)

$$\begin{aligned} Q_2 &= (W_1 A + \frac{L}{2} q) \frac{C \cdot E}{B \cdot D \cdot F} \\ &= K_1(W_1 A + \frac{L}{2} q) \end{aligned} \quad (1-12-20)$$

$\frac{C \cdot E}{B \cdot D \cdot F}$ —— 常数, 以 K 表示

Q_3 —— 由重锤 W 作用在飞刀辊上的力(N)

$$Q_3 = \frac{E \cdot Z}{D \cdot F} W_2 = K_2 Z W_2 \quad (1-12-21)$$

$\frac{E}{D \cdot F}$ —— 常数, 以 K 表示

W_1 —— 游锤重量(N)

W_2 —— 重锤重量(N)

(二) 飞刀辊作用在底刀上的力的计算

1. 飞刀辊作用在底刀上的静压力计算

【说明】 参见图1-12-5。

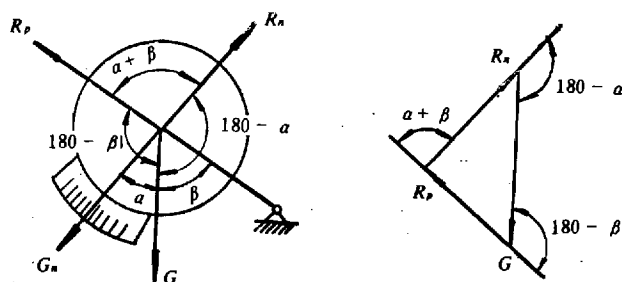


图1-12-5 飞刀辊作用在底刀上的静压力计算图

【公式】

$$G'n = \frac{G \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (1-12-22)$$

式中 $G'n$ —— 飞刀辊作用在底刀上的静压力(N)

G —— 飞刀辊的重量(N)

α —— 底刀与辊中心重线之间的偏角(度)

β —— 支撑飞刀辊的轴承臂与辊中心的重线之间的夹角(度)

2. 飞刀辊作用在底刀上的动压力计算

【说明】 飞刀辊作用在底刀上的动压力 G_n 的计算见本节第“一、(五)打浆比压的计算”。

六、打浆机所需功率的计算

【说明】 打浆机打浆时所消耗的功率, 分为有效功率和无效功率两部分。有效功率即消耗于切断纤维、使纤维帚化、撕裂和压溃所消耗的功率; 无效功率则是消耗于浆料循环、浆料与设备摩擦及机械摩擦等方面的功率。

(一) 打浆机的有效功率

【公式】

$$N_1 = \frac{\mu P F V}{1000} \quad (1-12-23)$$

式中 N_1 —— 打浆机有效功率(kW)

P —— 打浆比压(N/m²)

F —— 飞刀和底刀的接触面积(m^2)

V —— 飞刀辊的线速度(m/s)

μ —— 飞刀与底刀间的浆料摩擦系数,见表1-12-5

表1-12-5 不同浆料打浆时飞刀与底刀间的浆料摩擦系数
[打浆比压:0.7~0.9MPa(7~9kg/cm²)]

浆料种类	亚硫酸盐木浆	破布浆	稻草浆	磨木浆	麻 浆
μ 值	0.116	0.128	0.136	0.144	0.170

(二)打浆机的无效功率

【说明】 打浆机的无效功率可分下列四部分计算。

1. 浆料循环所消耗的功率

【公式】

$$P_2 = \frac{q(V_1 - V_2)^2}{2 \times 1000} = \frac{(Bh - 0.43R^2)\gamma V_2(V_1^2 - V_2^2)}{2 \times 1000} \quad (1-12-24)$$

式中 P_2 —— 浆料循环所耗功率(kW)

q —— 单位时间内纸料循环量(kg/s)

V_1 —— 飞刀辊线速度(m/s)

V_2 —— 纸料循环速度(m/s)

B —— 回流沟的宽度(m)

h —— 回流沟纸料深度(m)

R —— 回流沟内圆角半径(m)

γ —— 纸料的容重(kg/m³),一般取1000

2. 飞刀与纸料摩擦所消耗的功率

【公式】

$$P_3 = \frac{R_1 V_1}{1000} \quad (1-12-25)$$

式中 P_3 —— 飞刀与纸料摩擦所消耗功率(kW)

R_1 —— 飞刀与纸料的摩擦力(N)

$$R_1 = K F_1 V_0^m g \quad (1-12-26)$$

V_0 —— 速度差(m/s)

$$V_0 = V_1 - V_2 \quad (1-12-27)$$

F_1 —— 浸在纸料中的飞刀片未与底刀接触的面积(m^2)

$$F_1 = \frac{\beta}{360} Z_1 \delta_1 L \quad (1-12-28)$$

β —— 纸料浸没打浆辊的角度(度),一般为20~200°

Z_1, δ_1, L —— 分别表示纸料浸没飞刀的把数、飞刀片厚度(m)和飞刀的长度(m)

K, m —— 系数及指数,与飞刀材料和表面粗糙度有关,可按表1-12-6选取

表1-12-6 与飞刀材料和表面粗糙度有关的 K, m 值

刀材 常数	钢 刀	青 钢 刀	玄 武 岩 刀
K 值	0.135	0.143	0.415
m 值	1.86~2.00	1.85	1.90~2.05

3. 克服空气对飞刀辊的阻力所消耗的功率

【公式】

$$P_4 = \frac{K_1 \gamma_B F_2 V_1^{m_1}}{1000} \quad (1-12-29)$$

式中 P_4 —— 消耗的功率(kW)

V_1 —— 飞刀辊线速度(m/s)

K_1, m_1 —— 常数, $K_1 = 0.07 \sim 0.08, m_1 = 3$

γ_B —— 空气的重度(N/m³), 取12.65N/m³(1.29kg/m³)

F_2 —— 与空气接触的飞刀侧面积(m²)

$$F_2 = \frac{360 - \beta}{360} Z_2 b L$$

b —— 打浆辊刀槽深度, 一般取0.04~0.05(m)

Z_2 —— 与空气接触的飞刀的把数

L —— 飞刀片的长度(m)

4. 克服转轴与轴承摩擦所消耗的功率

【公式】

$$P_5 = \frac{\mu_1 G V_3}{1000} \quad (1-12-30)$$

式中 P_5 —— 所耗功率(kW)

μ_1 —— 轴承摩擦系数, 滑动轴承一般为0.05~0.1; 滚动轴承为0.005~0.01

G —— 由飞刀辊重量及皮带张力对轴承产生的压力(N)

$$G = G_1 + G_2 \quad (1-12-31)$$

G_1 —— 飞刀辊加在轴承上的有效重量(N)

G_2 —— 皮带的张力(N)

$$G_2 = (3 - 5) \frac{1360 P_{\Sigma}}{V_3} \quad (1-12-32)$$

P_{Σ} —— 打浆机传动所消耗的总功率(kW)

V_3 —— 飞刀辊轴颈的线速度(m/s)

(三) 打浆机所消耗的总轴功率

【公式】

$$P_0 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \quad (1-12-33)$$

式中 P_0 —— 总轴功率(kW)

其它同上

(四) 打浆机所需电机功率

【公式】

$$P = 1.2 \frac{P_0}{\eta} \quad (1-12-34)$$

式中 P —— 所需电机功率(kW)

η —— 机械传动效率, 一般为0.95~0.97

P_0 —— 同上

七、打浆机的设计计算

【说明】我国采用的标准 ZDC 打浆机规格见表1-12-1。从表中可见,标准型号的打浆机只有几种,不一定满足各厂的生产要求,因此,有加工能力的企业,均可自行设计制造。打浆机的设计可采取理论计算和实际经验相结合的方式进行,现将设计计算方法和步骤介绍如下。

(一)选取 K_1 、 K_2 值

【说明】 K 是表示打浆机切断纤维能力的系数; K 是表示打浆机压溃纤维能力的系数。 K_1 、 K_2 和刀片厚度 δ 决定着打浆机的性能,各种浆的 K_1 、 K_2 及刀片厚度 δ 值见表1-12-7。

表1-12-7 不同浆的 K_1 、 K_2 及 δ 值

纸浆种类	K_1	K_2	打浆浓度 (%)	打浆比压		飞刀与底刀厚度之和 $\delta_1 + \delta_2$ (mm)
				(10^5Pa)	(kg/cm^2)	
化学木浆	0.0106	1.93	4.0	0.82	0.84	5.5
化学木浆	0.0153	1.39	4.6	0.29	0.3	11
大麻浆	0.0069	1.25	5.0	4.50	4.59	5.5
大麻浆	0.0092	0.835	5.2	4.11	4.19	11
亚麻浆	0.0084	1.53	5.75	6.14	6.26	5.5
亚麻浆	0.0135	0.23	5.0	3.32	3.38	11
棉浆	0.0108	1.97	5.4	5.45	5.56	5.5
棉浆	0.0143	1.3	5.6	2.51	2.56	11

【公式】

$$K_1 = 3600C_1 \frac{\gamma l}{m - 1} \quad (1-12-35)$$

$$K_2 = \frac{3600C_2}{I_2 - I_1} \quad (1-12-36)$$

式中 m ——打浆后纤维被切断的份数

γ ——纤维单位长度的重量(kg/m)

l ——纤维在打浆前的长度(m)

I_1 、 I_2 ——打浆前后测定浆料的打浆度值

C_1 、 C_2 ——比例常数

(二)求打浆机的切断速度 V

【公式】同式1-12-5。

(三)飞刀和底刀的厚度 δ_1 和 δ_2

【说明】飞刀与底刀厚度之比 ϵ 一般为1.60~1.75,飞刀和底刀厚度 δ_1 和 δ_2 计算如下。

【公式】

$$\epsilon = \frac{\delta_1}{\delta_2} = 1.60 \sim 1.75 \quad (1-12-37)$$

$$\delta_2 = \frac{\delta_1 + \delta_2}{\frac{\delta_1}{\delta_2} + 1} = \frac{K_1}{K_2(\epsilon + 1)} \quad (1-12-38)$$

$$\delta_1 = \epsilon \delta_2 \quad (1-12-39)$$

式中符号含义及单位均同上

(四)确定打浆辊的尺寸的转速 n

1. 打浆辊的长度 L 与浆盆的容积 V 的关系

【公式】

$$L = \Phi V \quad (1-12-40)$$

式中 L ——打浆辊的长度(m)

Φ ——系数,一般为0.25~0.35,浆盆容积大时, Φ 取下限

V ——打浆机的容积(m^3),可由物料衡算确定

2. 打浆辊的直径 D

【公式】

$$D = (1.0 \sim 1.2)L \quad (1-12-41)$$

式中 D ——直径(m)

L ——同上

3. 打浆辊的转速 n

【说明】打浆辊的转速受打浆机结构强度及打浆过程其它因素的影响。

【公式】

$$n = \frac{60V}{\pi D} \quad (1-12-42)$$

式中 V ——打浆辊的线速度(m/s),伏特式打浆机刀辊的线速度为10~12m/s

其它同上

(五)确定飞刀和底刀数目

1. 飞刀数目

【说明】飞刀数目取决于飞刀的厚度和刀间距的大小

【公式】

$$Z_1 = \frac{\pi D}{b_1} \quad (1-12-43)$$

式中 Z_1 ——飞刀片数

b_1 ——飞刀间距(mm),一般为45~60mm

2. 底刀数目和刀间距

【说明】底刀可用2~3组,底刀包围打浆辊的角度为60~75°。

【公式】

$$Z_2 = \frac{60V}{Z_1 L n} \quad (1-12-44)$$

$$b_2 = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}\right)b_1 \quad (1-12-45)$$

式中 V ——打浆辊的切断速度(m/s)

Z_2 ——底刀片数

b_2 ——底刀间距(m)

L, n —— 飞刀辊长度(m)和转速(r/min)

Z_1 —— 飞刀片数

b_1 —— 飞刀间距(m)

(六) 浆盆的几何尺寸的确定

【说明】 以伏特式打浆机为例,其结构见图1-12-6。

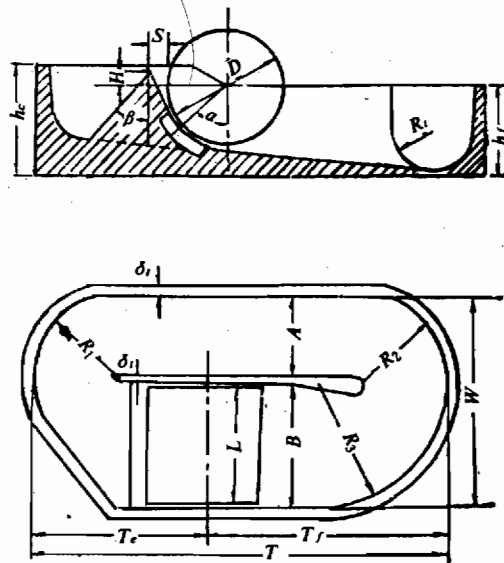


图1-12-6 伏特式打浆机浆盆的几何尺寸

1—浆盆前端的高度 $hf = 0.6 - 0.7D$ (mm) 2—宽沟宽度 $B = L + 50$ (mm) 3—窄沟宽度 $A = \frac{2}{3}B$ (mm) 4—盆底的内圆角半径 $R_1 = 300$ (mm) 5—浆盆边缘曲线 $R_1 = R_2 = A$ (mm) $R_3 = R_4 = B$ (mm) 6—中墙厚度 $\delta = 100$ (mm) 7—浆盆后墙高度 $he = D$ (mm) 或 $he = D + 50 - 100$ (mm) 8—浆盆的水线倾角 $5 \sim 7^\circ$ 9—浆盆厚度 $\delta_1 = 110$ (mm) 10—中墙前端圆弧半径 $r = 150$ (mm) 11—浆盆内部全长 $T = (3.5 \sim 4)D$ (mm) 12—浆盆前后的长度 (以打浆辊轴线为准) $T_f : T_c = 1 : 0.7$ 或 $T_f = \frac{L}{2} + 200 \sim 400$ (mm) 13—底刀中心线与打浆辊中心夹角 $\alpha = 45^\circ$ 14—山背坡度 $\beta = 45^\circ$ 15—山顶与打浆辊边缘的垂直距离 S : 一般小型打浆机为 $100 \sim 110$ mm; 中型打浆机为 $150 \sim 170$ mm; 大型不超过 250 mm。 16—山形部的最高点高出打浆辊水平中心线的距离 $H = 70 \sim 150$ (mm) 17—浆盆内壁长宽比: $\frac{T}{W} = 1.5 \sim 1.8$ 18—浆盆内壁的宽度 $W = A + B + \delta$ (mm)

(七) 山形部前坡曲线形状

【说明】 山形部前坡曲线有同心圆式、切线式和抛物线式三种,现分述如下。

1. 同心圆式曲线

【说明】 这种曲线大部分和打浆辊呈同心圆,如图1-12-7所示。同心圆的最高点与打浆辊水平中心线相等(按落刀后的高度)。在同心圆上,即 H 段,可与山顶直接连接。这种曲线的山形部,一般适用于打浆浓度低、纸料循环速度快的情况。

2. 切线式曲线

【说明】 切线式曲线是指在打浆辊中垂线以上 $60 \sim 70^\circ$ 角度的范围内,与打浆辊呈同心圆,见图1-17-8。从同心圆的末端(最高点)向上画一切线,到山形部规定高度 H 为止。这种曲线现在很少用。

3. 抛物线形曲线

【说明】 抛物线形山形部曲线如图1-12-9。其作法是：先按设计尺寸的比例画一圆，以上各式中符号含义及单位均同前代表打浆辊，然后通过O画一垂线与距离圆周为 δ (5~10mm)的水平线相交于A点。另外又从圆心O画一水平线，距离圆周为S的垂直线相交于B点。其次再从O点向山形部一边量取60°角，分为6等份，每份10°，就得 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 、 O_5 、 O_6 等分角线。通过1点作一切线，并以O为圆心，以 $(R + \delta + \frac{S - \delta}{6})$ 为半径画一圆弧，交切线于1'点；同样从2点画一切线，并以O为圆心，以 $(R + \delta + \frac{S - \delta}{6})$ 为半径画一圆弧，交第二条切线于2'点……依此类推，以O为圆心，分别以 $(R + \delta + \frac{S - \delta}{2})$ 、 $[R + \delta + \frac{2(S - \delta)}{3}]$ 、 $[R + \delta + \frac{5(S - \delta)}{6}]$ 、 $\frac{5(S - \delta)}{6}$ 和 $(R + S)$ 为半径画圆弧，就得到3'、4'、5'、6'等交点。连接1'、2'、3'、4'、5'、6'各点便得出山形部前坡的曲线。这种曲线在制作上虽然比较复杂，但更符合离心力随圆周切线方向运动的规则，因此，打浆效率比较高。

(八) 山尖的宽度

【说明】 山尖有锐角形的，也有圆弧形的，但山尖宽度不能超过20cm，因太宽易引起山尖上停浆的现象发生。山尖易于磨损，故可嵌上木顶或铜板等。

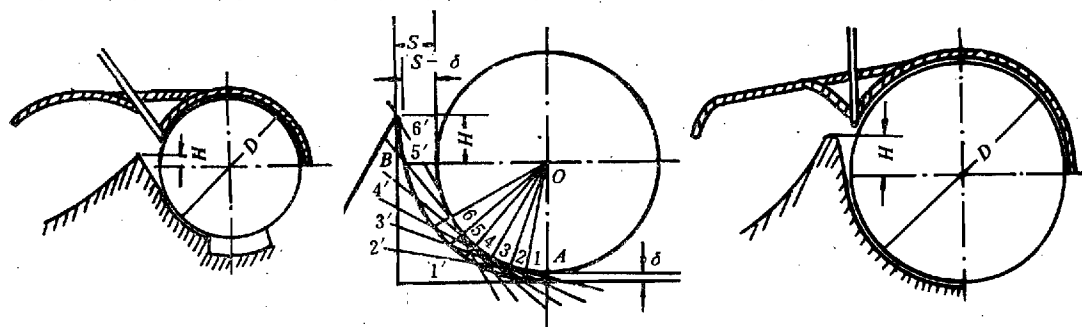


图1-12-7 同心圆式山形部曲线 图1-12-8 切线形山形部曲线 图1-12-9 抛物线形山形部曲线

第三节 连续打浆设备的串并联台数的确定计算

【说明】 连续打浆设备目前使用较多的是盘磨机、圆柱精浆机和锥形精浆机。每种类型又有多种型号，但其需要的串、并联台数都可用下面的方法来确定。

一、并联台数的确定计算

【公式】

$$n = \frac{Q}{GK} \quad (1-12-46)$$

式中 n —— 并联台数

Q —— 所需处理的浆料量(t/d)

K —— 设备利用系数，可取0.7~0.8

G —— 单台设备的处理量(t/d)，可从产品目录中查得

二、串联台数的确定计算

(一) 根据打浆度的提高进行计算

【说明】串联台数的确定需以打浆设备的打浆能力为依据,连续打浆设备的打浆能力受许多因素影响,如打浆浓度、打浆比压、齿形等,但一般认为对某种型号连续打浆设备,当打浆方式一定时,其打浆能力为常数。

1. 打浆能力的计算

【公式】

$$H = G \cdot \Delta I \quad (1-12-47)$$

式中 H —— 打浆能力($\text{kg} \cdot ^\circ\text{SR}/\text{h}$),需通过试验求得

G —— 通过量(kg/h)

ΔI —— 提高的打浆度数($^\circ\text{SR}$)

2. 串联台数的计算

【公式】

$$n' = \frac{\Delta I}{\Delta I'} \quad (1-12-48)$$

式中 ΔI —— 浆料需要提高的打浆度($^\circ\text{SR}$),即成浆与原浆打浆度之差

$\Delta I'$ —— 在通过量 G 下单台设备所能提高的打浆度数($^\circ\text{SR}$)

$$\Delta I' = \frac{H}{G} = \frac{Hn}{Q} \quad (1-12-49)$$

G —— 并联台数 n 下的通过量(kg/h)

Q —— 需处理的纸料量,由浆水平衡计算求得(kg/h)

n —— 并联台数

n' —— 串联台数

【例】某纸机需要处理纸料 $3.5\text{t}/\text{h}$,打浆度需由原浆 $13 \sim 14^\circ\text{SR}$ 提高到 $34 \sim 35^\circ\text{SR}$,采用盘磨机打浆,试验求得该种盘磨机打浆能力为 $20000\text{kg} \cdot ^\circ\text{SR}/\text{h}$,求其所需并联与串联的台数。

解:从产品目录查出该种盘磨机处理浆料的能力为 $2 \sim 3\text{t}/\text{h}$,取 $2.5\text{t}/\text{h}$,则并联台数为:

$$n = \frac{Q}{GK} = \frac{3.5}{2.5 \times 0.7} = 2(\text{台})$$

即采用两台并联。

每台实际通过量:

$$G = \frac{Q}{n} = \frac{3.5}{2} = 1.75(\text{t}/\text{h})$$

则每台盘磨机可提高打浆度:

$$nI' = \frac{H}{G} = \frac{20000}{1.75 \times 1000} = 11.4(^\circ\text{SR})$$

串联台数:

$$n' = \frac{\Delta I}{\Delta I'} = \frac{35 - 14}{11.4} = 2(\text{台})$$

(二) 根据打浆电耗进行计算

【说明】在实际生产中,往往可以根据每打一吨浆料所需要的电耗来决定精浆机的串联台数。

【公式】

$$n' = \frac{H\Delta YG}{KTN} \quad (1-12-50)$$

式中 n' ——所需精磨机台数

Y ——要求提高打浆度的总数($^{\circ}\text{SR}$)

K ——精浆机的负荷系数,通常取0.8~0.9

T ——每日打浆时间(h),通常按24小时计算

N ——每台精浆机所装配的电动机容量(kW)

G ——精浆机的生产能力(t/d)

H ——每台精浆机处理一吨浆料在提高打浆度 1°SR 时所消耗的电力(kW·h),其值一般是根据浆料性质和精浆机的型式而定

第四节 圆柱精浆机的工艺计算

一、圆柱精浆机的磨浆特性计算

(一)磨浆面积计算

【说明】 磨浆面积指操作时定子刀与刀辊的实际接触面积。

【公式】

$$F = \frac{im_1m_2S_1S_2b}{\pi D \cos \alpha} \quad (1-12-51)$$

式中 F ——磨浆面积(m^2)

i ——定子刀的组数,通常为四组

m_1 ——飞刀辊上的刀片数

m_2 ——每组定子刀上的刀片数

S_1 ——飞刀片厚度(m)

S_2 ——底刀片厚度(m)

b ——刀片宽度(刀辊长度)(m)

D ——刀辊直径(m)

α ——底刀对刀辊轴线的偏角(度)

【例1】 某ZJU-280型圆柱精浆机有四组定子刀,飞刀片数为34把,刀片厚度为10mm;定子刀片14把,厚度6mm;刀宽280mm,刀辊直径300mm,刀轴交角 8° ,求磨浆面积。

$$\begin{aligned} \text{解: } F &= \frac{im_1m_2S_1S_2b}{\pi D \cos \alpha} = \frac{4 \times 34 \times 14 \times 0.01 \times 0.006 \times 0.28}{3.14 \times 0.3 \times \cos 8^{\circ}} \\ &= 0.9723(\text{m}^2) \\ &= 9723(\text{cm}^2) \end{aligned}$$

(二)磨浆比压的计算

【说明】 单位磨浆面积上承受的压力,称为磨浆比压。

【公式】

$$P = \frac{iG}{F} \quad (1-12-52)$$

式中 P ——磨浆比压(Pa)

G ——每组定子刀对刀辊的正压力(N)

F —— 磨浆面积(m^2)

i —— 定子刀组数

【例2】 某圆柱精浆机磨浆面积为 0.9723m^2 ,有4组定子刀,每组定子刀对刀辊的正压力为 73893.78N ,求磨浆比压。

$$\begin{aligned}\text{解: } P &= \frac{iG}{F} = \frac{4 \times 73893.78}{0.9723} \\ &= 3.04 \times 10^5 (\text{Pa})\end{aligned}$$

(三) 切断能力

【说明】 指飞刀与底刀每秒钟切断纤维的刀口长度,也称切断速度。

【公式】

$$V_s = \frac{im_1m_2bn}{60\cos\alpha} \quad (1-12-53)$$

式中 V_s —— 切断能力(m/s)

n —— 切辊转速(r/min)

其它同上

【例3】 在例1及例2中,已知刀辊转速为 1450r/min ,求切断能力。

$$\begin{aligned}\text{解: } V_s &= \frac{im_1m_2bn}{60\cos\alpha} \\ &= \frac{4 \times 34 \times 14 \times 0.28 \times 1450}{60\cos 8^\circ} \\ &= 12758.76 (\text{m/s})\end{aligned}$$

(四) 撕裂能力

【说明】 指圆柱精浆机打粘状浆的能力。

【公式】

$$H = FV = \frac{im_1m_2s_1s_2bn}{60\cos\alpha} \quad (1-12-54)$$

式中 H —— 撕裂能力(cm^3/s)

V —— 刀辊线速度(cm/s)

其它同上

【例4】 计算上述3例中圆柱精浆机的撕裂能力。

$$\begin{aligned}\text{解: } H &= \frac{im_1m_2s_1s_2bn}{60\cos\alpha} \\ &= \frac{4 \times 34 \times 14 \times 1 \times 0.6 \times 28 \times 1450}{60 \times 0.9903} \\ &= 780595.77 (\text{cm}^3/\text{s})\end{aligned}$$

(五) 刀口系数

【说明】 表示圆柱精浆机打浆方式的量,其值与打浆方式的关系见打浆机部分的特性计算。

【公式】 同式1-12-12。

(六) 磨浆系数

【说明】 是较全面地反映圆柱精浆机工艺性能的一个综合性能指标。

【公式】

$$\mu = \frac{V_i}{F} = \frac{\pi D n}{60 S_1 S_2} \quad (1-12-55)$$

式中符号含义及单位同前

【例5】 计算上述4例中圆柱精浆机的磨浆系数。

解:
$$\mu = \frac{\pi D n}{60 S_1 S_2} = \frac{3.14 \times 30 \times 1450}{60 \times 1 \times 0.6} = 3794.17 [1/(\text{cm} \cdot \text{s})]$$

二、常用圆柱精浆机的技术特征

【说明】 见表1-12-8。

表1-12-8

圆柱精浆机的技术特征

型 号		ZJU-280型 (原50型)		ZJU-400型 (原100型)		ZJU-560型 (原300型)	
规 格							
飞 刀	材 料	45钢	玄武岩	45钢	宽甸麻石	玄武岩	砂 轮
	直 径(mm)	300	280	400	400	560	560
	宽 度(mm)	280	210	332	400	400	400
	刀 厚(mm)	10	20	10	35~40	31	15
	刀 高(mm)	20		20	25~30	—	30
	刀 数(片)	34	24	42	20~23	39	39
	刀轴交角	8°	8°	8°		10°	—
	刀 槽(宽×深)	17.7×20		19.9×20		14×33	—
刀辊转速(r/min)		1450	960	960	960	735	735
定 刀	材 料	45钢	玄武岩	45钢	宽甸麻石	玄 武 岩	砂 轮
	宽 度(mm)	200	210	240	230	440	440
	刀 厚(mm)	6	17	6~9	15	24	13
	刀 高(mm)	8		6	20~25	—	25
	每组刀数(片)	14	5	14~9		9	9
	刀 槽(宽×深)	6×8	10.5×16	6×6	4×6	12×25	—
浆料进口直径(mm)		Φ80		Φ125		Φ180	
浆料出口直径(mm)		Φ80		Φ125		Φ180	
电机功率(kW)		55		95 110		210 220	
打浆压力(10 ⁵ Pa)		1.96~3.92		1.96~2.94		2.94~4.90	
适用产量(t/d)		2~10		10~50		5~100	

三、浆料通过刀槽等空隙的总截面积计算

【例】 某厂用 ZJU—400型(100型)圆柱精浆机打电容器纸浆,其设备性能如下:

飞刀辊:刀槽宽11mm,深27mm,刀片30片。

底刀:共4组,每块底刀上有刀槽5条,其中300×12×24mm4条;300×12×18mm1条。

求:①浆料通过转子和定子刀槽等空隙的总截面积?②分析打浆质量匀整性差和粗纤维多的原因?

解:①转子刀槽截面积=30×1.1×2.7=89.1(cm²)

4组定子刀槽截面积=4(4×1.2×2.4+1.2×1.8)=54.7(cm²)

4组定子刀两侧空隙截面积=49.6(cm²)

4组定刀子之间的挡浆板与辊刀之间的截面积=2.6(cm²)

浆料可以通过转子和定子刀槽等空隙的总截面积=89.1+54.7+49.6+2.6=196(cm²)

②在以上空隙的总截面积中,转子刀槽的截面积只占45.5%,而定子刀槽等空隙面积占了54.5%。根据设备构造的特点,只有浆料进入定子刀和转子刀之间,纤维才受到打浆作用,而从定子刀槽等空隙通过的浆料就不会受到打浆作用,这是圆柱精浆机造成打浆质量匀整性差和粗纤维较多的主要原因。

四、圆柱精浆机打浆效率的计算

【说明】 所谓打浆效率,是指在单位时间内处理的浆料量,与打浆后提高打浆度度数的乘积。

【公式】

$$\eta = Q\Delta \quad (1-12-56)$$

式中 η ——打浆效率(kg·°SR/h)

Q ——通过浆量(kg/h)

Δ ——进口浆料打浆度与出口浆料打浆度之差(°SR)

第五节 盘磨机的工艺计算

一、盘磨机的磨浆面积计算

【公式】

$$F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)C_1C_2 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)C^2 \quad (1-12-57)$$

式中 F ——磨浆面积(cm²)

D ——磨片外圆周直径(cm)

d ——磨片内圆周直径(cm)

C_1 ——转盘接触率(转盘齿纹面积之和与转盘环形面积之比),一般为0.3~0.5

C_2 ——定盘接触率(定盘齿纹面积之和与定盘环形面积之比),一般为0.3~0.5

通常, $C_1 = C_2 = C$

【例】 设盘磨机片上分布有与磨片中心线倾角为18°的长、中、短放射性齿纹,并分布有弧形封闭圈。其中长齿纹齿数 $Z_1 = 18$, 齿纹宽度 $b_1 = 0.5$ cm, 齿纹长度 $L_1 = 14.4$ cm; 中齿纹齿数 $Z_2 = 18$, 齿纹宽度 $b_2 = 0.5$ cm, 齿纹长度 $L_2 = 10.2$ cm; 短齿纹齿数 $Z_3 = 36$, 齿纹宽度 $b_3 = 0.5$ cm, 齿纹长度 $L_3 = 8.4$ cm; 弧形封闭圈条数 $Z_4 = 17$, 宽度 $b_4 = 0.5$ cm, 长度 $L_4 = 14$ cm。磨片的外圆直径 $D = 40$ cm, 内圆直径 $d = 20$ cm。转盘和定盘齿纹分布及尺寸一样。求磨浆面积。

解:根据 $C = C_1 = C_2 = \frac{\text{磨片齿纹面积之和}}{\text{转动磨片环形面积}}$

$$= \frac{\sum zbl}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{Z_1 b_1 l_1 + Z_2 b_2 l_2 + Z_3 b_3 l_3 + Z_4 b_4 l_4}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)} \\
&= \frac{18 \times 0.5 \times 14.4 + 18 \times 0.5 \times 10.2 + 36 \times 0.5 \times 8.4 + 17 \times 0.5 \times 14}{\frac{\pi}{4}(40^2 - 20^2)} \\
&= \frac{491.6}{942} = 0.52
\end{aligned}$$

$$\text{故 } F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)C^2 = \frac{\pi}{4}(40^2 - 20^2) \times 0.52^2 = 942 \times 0.52^2 = 254.7(\text{cm}^2)$$

二、盘磨机的主要技术特征

【说明】 见表1-12-9

表1-12-9 我国通用盘磨机主要技术特征

型 号	ZDP1	ZDP2	ZDP3	ZDP8	ZDP9	ZDP11	ZDP21	ZDP31
磨盘直径(mm)	400	500	600	330	1r50	450	915	600
类 别	单转盘磨	单转盘磨	单转盘磨	单转盘磨	单转盘磨	三盘磨	双转盘磨	热磨机
磨盘转速(r/min)	1470	1470	875	1460	255	960	985	<980
进浆口尺寸(mm)	Φ100	I Φ100 I 150×200	I Φ150 I 205×190	Φ 100	100×100	Φ65 (二个)	300×185	
出浆口尺寸(mm)	Φ100	I Φ100 I 80×180	I Φ100 I 220×100	Φ 100	Φ150	Φ70 (一个)	640×290	
主电动机功率(kW)	45~55	55~75	100~110	22~30	40	115	2×130	160
备 注	用于各种浆料打浆	用于各种浆料打浆	可处理化学浆、化学机械浆、浆料粗渣等	适于处理化学浆	水泥浇注磨盘,适于处理磨木粗渣等	三个磨盘,中间一个转动,用于各种浆料打浆	适于处理木浆	用于连续蒸煮后浆料的热磨,也可用于半化学浆的热磨

三、盘磨机的磨浆特性计算

(一)盘磨机的切断速度计算

【公式】

$$V_s = \frac{1}{60} Z_1 Z_2 L n \quad (1-12-58)$$

式中 V_s ——切断速度(m/s)

Z_1, Z_2 ——转盘和定盘齿数

L ——磨盘齿槽长度(m)

n ——转盘转速(r/min)

(二)有效打浆面积

【公式】

$$F = F_1 M = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)M \quad (1-12-59)$$

式中 F ——有效磨浆面积(cm^2)

D —— 磨盘齿外径(cm)

d —— 磨盘齿内径(cm)

F_1 —— 磨区总面积(cm^2)

M —— 磨盘上刃齿占有面积系数

$$M = \frac{S_1}{S_1 + S_2}$$

S_1 —— 齿宽(cm)

S_2 —— 槽宽(cm)

(三)磨浆比压

【公式】

$$P = \frac{P_{\Sigma}}{F} = \frac{4P_1}{\pi(D^2 - d^2)M} \quad (1-12-60)$$

式中 P —— 磨浆比压(Pa)

P_{Σ} —— 总挤压力(N)

其它同上

(四)单位面积剪切摩擦力

【公式】

$$P_y = \frac{Mr}{R_m F} \quad (1-12-61)$$

式中 P_y —— 单位面积剪切摩擦力(Pa)

Mr —— 主电机转矩(N·m)

R_m —— 转盘平均半径(m)

(五)打浆能力

【公式】

$$G = \frac{\rho F_f V q}{\Delta I \delta \times 1000} \times 60 \quad (1-12-62)$$

式中 G —— 打浆能力(kg/h)

ρ —— 每升纸料中纤维含量[g(绝干)/L]

F_f —— 磨盘齿槽占用面积(cm^2)

$$F_f = F_1 - F$$

V —— 磨盘线速度(m/s)

q —— 压差比值,即 $\frac{\text{出口压力}}{\text{进口压力}}$

ΔI —— 打浆所需要提高的打浆度(°SR)

δ —— 浆档系数,一档为1.25;2档为1.75

四、纤维在磨区内停留的时间计算

(一)当定盘与转盘不同时

【公式】

$$T = \frac{LA}{q} \quad (1-12-63)$$

式中 T ——停留时间(s)

L ——齿槽长度(cm),当磨盘齿槽长度相同时:

$$L = \frac{D_2 - D_1}{\cos \alpha}$$

α ——齿槽与垂直轴线的倾角(度)

D_1 ——磨盘区内直径(cm)

D_2 ——磨盘区外直径(cm)

A ——流动有效面积(cm^2)

$$A = 2\pi D_m K h$$

D_m ——平均直径(cm)

$$D_m = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

K ——齿槽占有面积比例

h ——齿槽深度(cm)

Q ——流量(L/s)

(二)当定盘与转盘相同时

【公式】

$$T = \frac{2\pi L D_m K h}{q} \quad (1-12-64)$$

式中符号含义及单位同上

五、盘磨机机械加压的挤压力计算

【说明】 见图1-12-10所示,盘磨机的机械加压装置是通过带螺母的手轮压缩杠杆一端的弹簧,再通过杠杆来加压磨盘,使磨盘间产生足够的打浆压力,来达到磨浆的工艺要求。加压装置所产生的挤压力计算如下。

【公式】

$$P = T \frac{D}{d} \frac{1}{\tan(\rho + \alpha)} \frac{a}{b} \eta \quad (1-12-65)$$

式中 P ——挤压力(N)

D ——手轮的直径(m)

d ——螺旋的直径(m)

T ——旋转手轮的力(N)

ρ ——螺杆与螺母间的摩擦角(度)

α ——螺旋的升角(度)

a, b ——杠杆力臂的长度(m)

η ——杠杆效率,视润滑情况而定

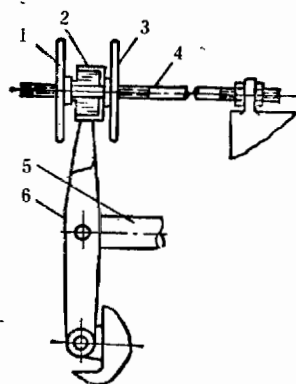


图1-12-10 盘磨机机械加压装置示意图

1—加压手轮 2—板卷弹簧 3—锁紧手轮
4—螺杆 5—加压杆(转轴) 6—加压杠杆

六、盘磨机的动力消耗计算

(一)盘磨机的启动负荷计算

【说明】 启动时,磨盘之间产生负压,即使磨盘退出,抽吸作用也会使转子轴向移动,推向两个定子的一面,这时,传动电机除产生泵送浆耗能外,还要增加单面磨盘区接触所

需的消耗。通过核对,能检验所选择的齿型结构和齿宽所引起的能耗。

【公式】

$$N = N_{\text{最大}} \left(\frac{n}{n_{\text{额定}}} \right)^3 \quad (1-12-66)$$

式中 N —— 启动功率(kW)

$N_{\text{最大}}$ —— 最大功率(kW),为电机传动所需的最小额定功率(kW)

n —— 转速(r/min)

$n_{\text{额定}}$ —— 额定转速(r/min)

(二)盘磨机的磨浆电流负荷计算

【说明】 磨浆电流间接地反映了打浆比压与磨盘间隙的关系。在纸料浓度和通过量基本不变的条件下,一般是控制电流的大小来改变磨浆比压。为了充分发挥设备的工作效率,应使盘磨机在满负荷下运转。磨浆电流不应小于电机额定电流的70%为好。

1. 电动机的额定电流计算

【公式】

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \eta \cos \Phi} \quad (1-12-67)$$

式中 I —— 额定电流(A)

P —— 主电机功率(W)

V —— 线电压(V)

η —— 电机效率,一般为0.85

$\cos \Phi$ —— 功率因数,一般为0.85

2. 磨浆电流的计算

【公式】

$$I' = \frac{P}{\sqrt{3} V \eta \cos \Phi} \times 70\% \quad (1-12-68)$$

式中 I' —— 磨浆电流(A)

其它同上

3. 磨浆的单位电耗计算

【说明】 磨浆的单位电耗[kW·h/(t·°SR)]是指每吨纸浆打浆度每提高1°SR时,所消耗的电量。

【公式】

$$K_w = \frac{\sqrt{3} A V \cos \Phi}{q(I_2 - I_1) \times 1000} \quad (1-12-69)$$

式中 K_w —— 打浆单位电耗[kW·h/(t·°SR)]

A —— 电机实际电流(A)

V —— 电机电压(V)

q —— 每小时通过浆量(t/h)

I_1, I_2 —— 打浆前后浆料的打浆度(°SR)

$\cos \Phi$ —— 功率因数,通常为0.85

【讨论】 磨浆单位电耗 kW 值,由浆料的性质和盘磨机的型式而定,如处理亚硫酸盐

苇浆时, $\Phi 1250$ 单圆盘磨 kW 为 $6.5 \sim 7.0 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{t} \cdot ^\circ \text{SR})$, 双盘磨浆机为 $12.4 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{t} \cdot ^\circ \text{SR})$ 。

(三) 盘磨机的动力消耗计算

1. 动力消耗的理论计算

【公式】

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$$

式中 N —— 盘磨机磨浆的总动力消耗(kW)

N_1 —— 磨浆区磨浆时消耗的功率(kW)

$$N_1 = \frac{\pi^4}{2040} \frac{\gamma}{g} u Cr C_s n^3 D_1^5 \quad (1-12-70)$$

γ —— 浆料的容重(kg/m^3)

g —— 重力加速度($9.81 \text{ m}/\text{s}^2$)

u —— 磨浆区的磨浆阻力系数, 见下

Cr —— 转盘接触率

C_s —— 定盘接触率, 一般 $C_s = Cr$

n —— 转盘转速(r/s)

D_1 —— 磨盘外直径(m)

D_2 —— 磨盘内直径(m)

N_2 —— 浆料离开磨浆区时的泵送功率(kW)

$$N_2 = \frac{\pi^2 Q n^2 D_1^2}{204g} \quad (1-12-71)$$

Q —— 单位时间浆料的通过量(kg/s)

N_3 —— 磨盘内浆料与转盘非工作面摩擦消耗的功率(kW)

$$N_3 = N_{3a} + N_{3b} + N_{3c} = \frac{\pi^4 \gamma}{2040g} \mu_0 n^3 (D_1^5 + 10aD_1^4) \quad (1-12-72)$$

N_{3a} —— 浆料与转盘背面摩擦消耗的功率(kW)

$$N_{3a} = \frac{\pi^4 \gamma}{2040g} \mu_0 n^3 (D_1^5 - d^5) \quad (1-12-73)$$

N_{3b} —— 浆料与转盘圆周的圆柱面摩擦消耗的功率(kW)

$$N_{3b} = \frac{\pi^4 \gamma}{204g} \mu_0 n^3 a D_1^4 \quad (1-12-74)$$

N_{3c} —— 转盘轴头与浆料接触部分的圆柱面和浆料摩擦消耗的功率(kW)

$$N_{3c} = \frac{\pi^4 \gamma}{204g} \mu_0 n^3 b d^4 \quad (1-12-75)$$

μ_0 —— 浆料的摩擦系数, 浓度为 $3 \sim 5\%$ 时, $\mu_0 = 0.008 \sim 0.015$

a —— 转盘(磨片和托盘)的厚度(m)

d —— 转盘轴头外圆直径(m)

b —— 转盘轴头与浆料接触部分的长度(m)

N_4 —— 主轴传动时轴承、密封等摩擦消耗的功率(kW)

$$N_4 = (N_1 + N_2 + N_3) \left(\frac{1}{\eta_1} - 1 \right) \quad (1-12-76)$$

η_1 —— 盘磨机机械效率, 一般为 0.94

故盘磨机磨浆的总动力消耗为:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$$

$$= \frac{\pi^4 \gamma}{2040 g \eta_1} n^3 D_1^5 (\mu C_r C_s + \frac{10Q}{\pi^2 \gamma n D_1^3} + 10 \mu_0 \frac{a}{D_1} + \mu_0) \quad (1-12-77)$$

式中符号含义及单位均同前

2. 盘磨机操作时实际消耗的功率计算

【说明】纸厂磨浆用的盘磨机，磨浆时负荷的大小通常是通过电流表反映出来的，而电动机的工作电压、功率因数和电机效率是一定的，那么盘磨机的功率消耗便可通过下式换算出来。

【公式】

$$N = \frac{\sqrt{3} IV \eta_2 \cos \Phi}{1000} \quad (1-12-78)$$

式中 N —— 实际消耗功率(kW)

I —— 盘磨机的操作电流(A)

V —— 盘磨机的工作电压(V)

$\cos \Phi$ —— 电动机的功率因数，一般为0.85

η_2 —— 电动机效率，可取0.85

3. 盘磨机磨浆阻力系数的计算

【说明】根据式1-12-79及式1-12-78的等量关系建立方程并求解得盘磨机磨浆阻力系数如下。

【公式】

$$\mu = \frac{1}{C_r C_s} \left(\frac{2.04 \sqrt{3} g}{\pi^4 \gamma} \cdot \frac{IV \cos \Phi \eta_2 \eta_1}{n^3 D_1^5} - \frac{10Q}{\pi^2 \gamma n D_1^3} - 10 \mu_0 \frac{a}{D_1} - \mu_0 \right) \quad (1-12-79)$$

式中符号含义及单位均同前

4. 盘磨机功率消耗计算实例

(1) $\Phi 300$ 单盘磨机功率消耗

【例】已知某厂使用时操作电流 $I = 45A$ ，磨盘转速 $n = 24.5r/s$ (1470r/min)，转盘外直径 $D_1 = 0.3m$ ($\Phi 300$)，通过量 $\Phi = 2kg/s$ (按288kg 绝干浆/h、浓度4%计)，浆料摩擦系数 $\mu_0 = 0.012$ (浓度3~5%时， $\mu_0 = 0.08 \sim 0.015$)，转盘厚度 $a = 0.035m$ ，转动磨盘接触率 $C_r = 0.38$ ，固定磨盘接触率 $C_s = 0.38$ ，电动机工作电压 $V = 380V$ ，功率因数 $\cos \Phi = 0.86$ ，电动机效率 $\eta_2 = 0.895$ ，盘磨机机械效率 $\eta_1 = 0.94$ 。

解：①计算磨浆阻力系数 μ

$$\mu = \frac{1}{C_r C_s} \left(\frac{2.04 \sqrt{3} g}{\pi^4 \gamma} \cdot \frac{IV \cos \Phi \eta_2 \eta_1}{n^3 D_1^5} - \frac{10Q}{\pi^2 \gamma n D_1^3} - 10 \mu_0 \frac{a}{D_1} - \mu_0 \right)$$

$$= \frac{1}{0.38^2} \left(\frac{2.04 \sqrt{3} g}{\pi^4 \times 10^3} \cdot \frac{45 \times 380 \times 0.86 \times 0.895 \times 0.94}{24.5^3 \times 0.3^5} - \frac{10 \times 2}{\pi^2 \times 10^3 \times 24.5 \times 0.3^2} - \frac{10 \times 0.012 \times 0.035}{0.3} - 0.012 \right)$$

$$= 0.652$$

②计算各部分的功率消耗

$$N_1 = \frac{\pi^4}{2040} \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \mu C_r C_s n^3 D_1^5$$

$$= \frac{\pi^4 \times 10^3}{2040g} \times 0.652 \times 0.38^2 \times 24.5^3 \times 0.3^5 = 16.374(\text{kW})$$

$$N_2 = \frac{\pi^2 Q n^2 D_1^2}{204g} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 24.5^2 \times 0.3^2}{204 \times 9.8} = 533(\text{kW})$$

$$\begin{aligned} N_3 &= \frac{\pi^4 \gamma}{2040g} \mu_0 n^3 (D_1^5 + 10aD_1^4) \\ &= \frac{\pi^4 \times 10^3}{2040g} \times 0.012 \times 24.5^3 (0.3^5 + 10 \times 0.035 \times 0.3^4) \\ &= 4.522(\text{kW}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_4 &= (N_1 + N_2 + N_3) \left(\frac{1}{\eta_1} - 1 \right) \\ &= (16.374 + 0.533 + 4.522) \left(\frac{1}{0.94} - 1 \right) = 1.368 \end{aligned}$$

③计算总功率及各部分所占比例

$$\begin{aligned} \text{磨浆总功率 } N &= N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \\ &= 16.374 + 0.533 + 4.522 + 1.368 = 22.797(\text{kW}) \end{aligned}$$

各部分功率所占比例:

$$R_1 = \frac{N_1}{N} = \frac{16.374}{22.797} \times 100\% = 71.82\%$$

$$R_2 = \frac{N_2}{N} = \frac{0.533}{22.797} \times 100\% = 2.34\%$$

$$R_3 = \frac{N_3}{N} = \frac{4.522}{22.797} \times 100\% = 19.84\%$$

$$R_4 = \frac{N_4}{N} = \frac{1.368}{22.797} \times 100\% = 6\%$$

(2) $\Phi 400$ 单盘磨机功率消耗计算

【例】某厂用 $\Phi 400$ 单盘磨机处理草浆。已知操作电流 $I = 85\text{A}$, 磨盘转速 $n = 24.5\text{r/s}$, 转盘外径 $D_1 = 0.4\text{m}$, 通过量 $Q = 2\text{kg/s}$, 浆料摩擦系数 $\mu_0 = 0.012$, 转盘厚度 $a = 0.035\text{m}$, 转动磨盘接触率 $C_r = 0.38$, 固定磨盘接触率 $C_f = 0.38$, 电动机工作电压 $V = 380\text{V}$, 功率因数 $\cos\Phi = 0.88$, 电动机效率 $\eta_2 = 0.915$, 盘磨机机械效率 $\eta_1 = 0.94$

解:①磨浆阻力系数 μ

根据式1-12-79得:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{0.38^2} \left(\frac{2.04 \sqrt{3g}}{\pi^4 \times 1000} \cdot \frac{85 \times 380 \times 0.88 \times 0.915 \times 0.94}{24.5^2 \times 0.4^5} \right. \\ &\quad \left. - \frac{10 \times 2}{\pi^2 \times 10^3 \times 24.5 \times 10^3} - 10 \times 0.012 \times \frac{0.035}{0.4} - 0.012 \right) \\ &= 0.235 \end{aligned}$$

②各部分功率消耗

$$N_1 = \frac{\pi^4 \times 10^3}{2040g} \times 0.235 \times 0.38^2 \times 24.5^3 \times 0.4^5 = 24.873(\text{kW})$$

$$N_2 = \frac{\pi^2}{204} \times \frac{2}{g} \times 24.5^2 \times 0.4^2 = 0.947(\text{kW})$$

$$N_3 = \frac{\pi^4 \times 10^3}{2040g} \times 0.012 \times 24.5^3 (0.4^5 + 10 \times 0.035 \times 0.4^4) = 16.492(\text{kW})$$

$$N_4 = (24.873 + 0.947 + 16.492) \left(\frac{1}{0.94} - 1 \right) = 2.701(\text{kW})$$

③计算总功率及各部分所占比例

总功率 $N = 24.873 + 0.947 + 16.492 + 2.701 = 45.013(\text{kW})$

各部分所占比例:

$$R_1 = \frac{N_1}{N} = \frac{24.873}{45.013} \times 100\% = 55.26\%$$

$$R_2 = \frac{N_2}{N} = \frac{0.947}{45.013} \times 100\% = 2.1\%$$

$$R_3 = \frac{N_3}{N} = \frac{16.492}{45.013} \times 100\% = 36.64\%$$

$$R_4 = \frac{N_4}{N} = \frac{2.701}{45.013} \times 100\% = 6\%$$

(3)Φ300和Φ400单盘磨机选择比较计算

【例】某厂为了比较Φ300与Φ400蜗轮蜗杆调节的单盘磨机的性能,按下面流程布置作对比试验,即用两台Φ400单盘磨机串联和六台Φ300单盘磨机串联,经检测并计算结果如表1-12-10和表1-12-11(计算从略),试分析其选择特性。

解:从表1-12-10及表1-12-11中的计算结果可归纳出以下几点特性:

表1-12-10 Φ300与Φ400单盘磨机单位电耗和功率消耗分析比较(芒杆浆)

机台	原 浆		成 浆		通过量 [kg(绝干)/h]	磨浆电流 总和(A)	单位电耗		功率消耗	
	打浆度 (°SR)	湿 重 (g)	打浆度 (°SR)	湿 重 (g)			kW·h °SR	%	kW	%
Φ300 六台串联	24	8	70	2.8	300	270	10.4	100	143.52	100
Φ400 二台串联	24	8.5	65	4.8	306	170	7.35	71	92.21	64.3

表1-12-11 Φ300与Φ400单磨机成浆纤维长度分析(芒杆浆)

机 台	平均纤维长度(mm)	1.0mm 以上纤维比例(%)	0.15~0.8mm 纤维比例
Φ300 六台串联	0.71	11	45
Φ400 二台串联	0.96	34.7	27.8

①用二台Φ400单盘磨机可以完成六台Φ300单盘磨机的生产任务;单位电耗可节省29%,功率相应降低了35.7%。

②用两台Φ400单盘磨机串联代替六台Φ300单盘磨机串联磨浆避免了对纤维过多的切断,长纤维组分增加,短纤维组分减少,提高了成浆纤维的平均长度。

③对于同样的磨浆任务来说,用Φ400单盘磨机配成的生产线比Φ300单盘磨机配成的生产线,设备台数减少,成浆质量提高,同时,较大幅度地降低了动力消耗。

七、盘磨机的能量消耗计算

【公式】

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad (1-12-80)$$

式中 E_1 ——磨盘与纸浆间由流体摩擦所产生的能量损失

$$E_1 = K_1 D^5 n^3 \quad (1-12-81)$$

K_1 ——比例常数

D ——磨盘直径(m)

n —— 转速(r/min)

E_2 —— 泵送作用所消耗的能量

$$E_2 = K_2 Q D^2 n^2 \quad (1-12-82)$$

K_2 —— 比例常数

Q —— 通过量

E_3 —— 打浆消耗的能量

$$E_3 = K_3 D^3 n \quad (1-12-83)$$

K_3 —— 比例常数

八、盘磨机的节能计算

(一) 盘磨机的选择对节能的影响计算

【说明】 对盘磨机的磨浆来说,双盘磨机的电耗可比单盘磨机的电耗节省两倍。

【例】 某厂生产挂面纸板,原来使用 15 台单盘磨浆机,后来改用 5 台双盘磨浆机代替,其具体消耗指标如表 1-12-12,求:①总动力(马力)减少量;②空截时动力(马力)降低量;③净用于磨浆的动力(马力)增加量。(空载马力指不加压时的动力消耗,净马力=总马力-空载马力)。

表 1-12-12

单盘磨机与双盘磨机动耗比较

机型	浆种	台数	总马力	空载马力	净马力
单盘磨机	里层	9	4550	2525	2025
	面层	6	2750	1425	1325
	总数	15	7300	3950	3350
双盘磨机	里层	3	4500	1080	3420
	面层	2	2000	490	1510
	总数	5	6500	1570	4930

注:1 马力=735.5W。

解:①总动力减少:7300-6500=800(马力)=588.4(kW)

②空载时动力降低:3950-1570=2380(马力)=1750.5(kW)

③净用于磨浆的动力增加:4930-3350=1580(马力)=1162.1(kW)

(二) 盘磨机的转速对节能的影响计算

【说明】 对同一台盘磨机当采用相差不大的运转速度时,其磨浆效果是一样的,但所消耗的动力却相差较大,这里就存在着节电问题。

【例】 某厂有一台 $\Phi 860\text{mm}$ (34in) 的盘磨机,在 600r/min 时消耗的动力为 551.6 kW,而在 514r/min 时,消耗的动力则为 404.5kW,其各自的空载荷分别是 183.9kW 和 110.3kW,求可节省多少电力用于再磨。

解:600r/min 时,净工作动力为:

$$551.6 - 183.9 = 367.8(\text{kW})$$

514r/min 时,净工作动力为:

$$404.5 - 110.3 = 294.2(\text{kW})$$

两种比较下 514r/min 时净节省动力:

$$367.8 - 294.7 = 73.1(\text{kW})$$

故可节省 73.1kW(100 马力)的电力用于再磨。

第六节 水力碎浆机的工艺计算

一、水力碎浆机的生产能力计算

(一)方法一(对间歇式)

【公式】

$$Q = 60 \frac{VC\gamma}{t} \quad (1-12-84)$$

式中 Q —— 生产能力(t/h)

V —— 槽体的工作容积(m^3)

C —— 浆料的浓度(%)

γ —— 浆料的容重,取 $1000kg/m^3$

t —— 每槽浆料需要的碎解时间(min),碎解时间的长短,根据纸浆种类和粗浆、浆块等数量而定。一般把含有 20% 未被碎解的粗料所需的碎浆时间作为有效的碎浆时间。

(二)方法二

【公式】

$$Q = \frac{N}{N^1 t} \quad (1-12-85)$$

式中 Q —— 生产能力(t/d)

N —— 水力碎浆机传动消耗的动力(kW)

N^1 —— 水力碎浆机单位产量的电耗($kW \cdot h/t$),碎浆的单位电耗随浆料种类而定,一般为 $60 \sim 100kW \cdot h/t$,软质纤维原料(如亚硫酸盐纸浆、施胶少的废纸等)可取较小值;硬质纤维原料(如硫酸盐纸浆、重施胶的废纸等)可取较大值。准确的单位电耗值,可参考不同类型水力碎浆机的实验数据。

t —— 水力碎浆机每日工作时数(h)

二、水力碎浆机的功率计算

【说明】 水力碎浆机所需电机的功率可采用搅拌悬浮物、克服其惯性力的原理,用近似算法计算。

【公式】

$$N = \frac{GV^2}{2g \cdot 102\eta} = 7.04 \times 10^{-5} \alpha \beta^3 D^5 n^3 \quad (1-12-86)$$

式中 N —— 电机所需功率(kW)

G —— 搅拌混合的浆料量(kg/s)

$$G = \alpha \gamma FV \quad (1-12-87)$$

α —— 比例常数,随刀片和叶片的形状不同而异

γ —— 浆料的容重(kg/m^3)

F —— 转盘的面积(m^2)

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \quad (1-12-88)$$

D —— 转盘的直径(m)

V —— 浆料循环速度(m/s)

$$V = \beta \frac{\pi D n}{6V} \quad (1-12-89)$$

β —— 比例常数,随不同的转盘圆周速度范围而变化

【注意】 上面的公式是适用于单转盘水力碎浆机的一个近似的理论计算公式,式中系数 α 和 β 无现成数据,需在一定浓度下经过试验进行测定。测定的数值只适用于这个既定的浓度。至于高、低速双转盘水力碎浆机,因有两个转盘工作,其耗用功率影响因素复杂,有待于进一步探讨。

第十三章 施胶与加填的工艺计算

第一节 施胶的工艺计算

一、施胶的理论计算

(一) 胶料的渗透速度计算

【说明】 纸张内部有大量的孔隙和毛细管,而纤维本身又具有一些细小的孔隙和裂缝,液体主要是通过这毛细管渗透到纸张内部去的。

【公式】

$$V = \frac{r\sigma\cos\theta}{4\mu l} \quad (1-13-1)$$

式中 V —— 渗透速度(m/s)

r —— 毛细管半径(m)

θ —— 液体与纤维表面的接触角(度)

σ —— 液体的表面张力(N/m)

μ —— 液体的粘度(cP)

l —— 液体渗透的深度(m)

(二) 液体的渗透深度计算

【说明】 从理论上来说,液体通过毛细管的渗透深度可由下式计算。

【公式】

$$l = \sqrt{\frac{rT\cos\theta}{2\mu}} \quad (1-13-2)$$

式中 l —— 液体的渗透深度(m)

t —— 液体的渗透时间(s)

r —— 毛细管的半径(m)

T —— 渗透液的表面张力(N/m)

θ —— 液体与纤维表面的接触角(度)

μ —— 液体的粘度(cP)

二、施胶的工艺计算

(一) 松香皂化用碱量的计算

【说明】 从纯碱(Na_2CO_3)与松香皂化的反应看,理论上 100kg 松香与 17.55kg 纯碱反应,可以达到完全皂化。而实际生产中,由于松香含有一些不可皂化物,纯碱本身也含有部分杂质,因此,要完全皂化,必须根据松香的皂化值和纯碱的纯度来计算。

【公式】

$$A = \frac{KM_2}{PM_1}(100 - C) \quad (1-13-3)$$

式中 A ——用碱量(%),对松香用量的百分比
 K ——松香的皂化值(以测皂化值所用碱与松香的百分比表示)
 M_1 ——测定皂化值所用碱的当量,KOH 为 56.1,NaOH 为 40
 M_2 ——熬胶时用碱的当量, Na_2CO_3 为 53
 C ——胶液中游离松香含量(%)
 P ——碱的纯度(%)

【例】 用含 98% Na_2CO_3 的工业纯碱熬胶,松香的皂化值用 NaOH 测定为 12.2%,要求胶料中游离松香含量为 42%,求用碱量对松香的百分比。

$$\text{解: } A = \frac{KM_2}{PM_1}(100 - C) = \frac{12.2 \times 53}{98 \times 40}(100 - 42) = 9.6\%$$

(二) 矾土溶液中标准硫酸铝含量的近似计算

【说明】 在室温(15℃)下,标准硫酸铝(矾土)按含 18 个结晶水计。

【公式】

$$C_1 = 90(d^2 - 1) \quad (1-13-4)$$

$$C_2 = 0.153C_1 \quad (1-13-5)$$

式中 C_1 ——矾土浓度(g/L)[以 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 计]

d ——溶液相对密度

C_2 ——氧化铝浓度(g/L)(以 Al_2O_3 计)

【例】 求相对密度为 1.087 的矾土溶液中含标准矾土及氧化铝的量。

$$\begin{aligned} \text{解: } C_1 &= 90(1.087^2 - 1) \\ &= 16.3412(\text{g/L})[\text{以 } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} \text{ 计}] \\ C_2 &= 16.3412 \times 0.153 \\ &= 2.5(\text{g/L})[\text{以 } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 计}] \end{aligned}$$

【附表】 矾土液中标准矾土及氧化铝含量速查表见表 1-13-1。

表 1-13-1

标准矾土及氧化铝含量速查表

相对密度	1.005	1.021	1.050	1.082	1.110	1.132	1.150
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}(\text{g/L})$	0.9022	3.8196	9.225	15.365	20.889	25.328	29.025
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{g/L})$	0.14	0.56	1.4	2.28	3.22	3.92	4.48

(三) 施胶压榨的胶料附着量的计算

【说明】 施胶压榨的胶料附着量又称拾取量。

【公式】

$$G = 17.51 + \frac{6.136 \times 10^4}{(\mu S)^n} + 1.288 \times 10^{-6} \frac{R}{P} \mu S \quad (1-13-6)$$

式中 G ——胶料附着量(g/m²)

μ ——胶料的粘度(cP)

S ——纸幅运行过压榨的速度(m/min)

n ——指数,取 1.0~1.5

P ——单位长度的辊间压区负载力(N/m)

R ——辊的半径(m)

第二节 加填的工艺计算

一、填料的性能计算

(一)常用填料的性能计算

【说明】见表 1-13-2。

表 1-13-2

常用填料的性能

填料种类	化学组成(近似值)	相对密度	粒度(m)	折光率	散射系数 (100Sp)	亮度 (%)	颗粒形状	备 注
滑石粉	30.6% MgO , 62% SiO_2	2.7	0.25~50	1.57		96.8	细小片状	
瓷土	39% Al_2O_3 , 45% SiO_2	2.58	0.5~10.0	1.56	9.5~11.5	82	细小片状	
白垩	96% $CaCO_3$	2.65	0.1~2.5	1.65	17~24	98	圆形	
沉淀碳酸钙	98.6% $CaCO_3$	2.65	0.1~0.35	1.658	28~36	98.9	菱形	
钙镁白	65% $CaCO_3$, 35% $Mg(OH)_2$	2.5	1.0~2.0	1.53	19	92~94	-	主要用于表面涂布
钛白	98% TiO_2	3.9	0.15~0.3	2.55	43~51	95.1	球形	主要用于薄纸、蜡纸等
红金石钛白	90~95% TiO_2	4.2	0.15~0.3	2.7	54~68	96	球形	主要用于薄纸、蜡纸等
锌白	95% ZnS	4.0	0.3	2.37		98	球形	主要用于浸渍加工纸
硫酸钡	97% $BaSO_4$	4.3~4.4	1.0~2.0	1.64	7.8	98	针状	主要用于表面涂布
沉淀硅酸钙	5% CaO , 78% SiO_2	2.08	0.08~0.13	1.45	25.4	96.5	球形	
硅酸铝	67% SiO_2 , 12% Al_2O_3 , 9% Na_2O	2.10	0.2	1.55	22.4	95	球形	
硅藻土	92% SiO_2	2.0	0.5~4	1.47	24~40	69~83		主要用于克服树脂障碍

注:散射系数为 100 倍的列出值。

(二)填料对光学性质的反应计算

【说明】纸页不透明度取决于纸页中各粒子的数目,亦即纸的定量,并决定于这些粒子及周围介质对光的折射率。在一张未加填的纸页中它的不透明度决定于纤维和空气之间的折射率之差,亦即在相应值 1.53 和 1.00 之间。其折射率和纤维的折射率接近的填料,例如白土,靠增加总散射表面增加光散射。只要在纸页中的空隙被空气填满就很有效。但如果纸张中的空气被蜡取代,情况便完全不同。用两个折射率的函数表示的使光线转向的能力表示如下。

【公式】

$$R = \frac{(n_r - 1)^2}{(n_r + 1)^2} \quad (1-13-7)$$

$$n_r = \frac{n_1}{n_2} \quad (1-13-8)$$

式中 R ——光线转向能力

n_r ——折射率之比

n_1, n_2 ——相邻两物质的折射率

【附表】常用造纸原材料的折射率见表 1-13-3;常用造纸填料的折射率见表 1-13-2

和表1-13-4。

表 1-13-3

常用造纸原材料的折射率

空气	1.00
水	1.33
纤维素	1.53
石蜡	1.43
淀粉	1.53
动物胶	1.53
亚麻油	1.48

【例】 根据上式,一种纤维素-空气界面的 R 值会比一种纤维素-蜡界面的 R 值约大 40 倍。这意味着一种未加填料的蜡纸事实上是透明的。加入白土不会改进这种情况,因为它的折射率只稍高于纤维素的折射率;唯一的方法是加入一种折射率更高的颜料,例如二氧化钛,即使纸页已被蜡完全浸透,二氧化钛也能保持高的不透明度。

表 1-13-4

常用造纸填料的折射率

白土	1.55
碳酸钙	1.56
氧化锌	2.01
硫化锌	2.37
二氧化钛	
锐钛矿	2.55
金红石	2.70
硫酸钙,硬石膏	1.58
滑石粉	1.57
滑石棉	1.56

(三)填料的散射系数计算

【说明】 折射率及粒度分布的最终结果可以用填料的散射系数表示。纸的散射系数与各种组分的散射系数是线性关系。散射系数是填料在纸张中显示不透明作用的一项综合指标,其数值取决于填料的形状、粒度以及填料与周围物质之间的折光率的差值。填料的散射系数多为纸浆散射系数的 3~4 倍以上。填料粒度愈小,比表面愈大,散射能力得到增强,因此不透明度较大。填料的散射能力可用比散射系数及散射系数表示。常用填料对光的比散射系数见图 1-13-1;纸浆及填料的比散射系数见表 1-13-5;常用填料的散射系数见表 1-13-2;常用纸浆的散射系数见表 1-13-6。

【公式】

$$S = xS_p + (1 - x)S_f \quad (1-13-9)$$

$$S_p = \frac{S - (1 - x)S_f}{x} \quad (1-13-10)$$

式中 S_p ——填料的散射系数
 S ——加填纸的散射系数
 S_f ——不加填纸(纸浆)的散射系数
 x ——纸中填料的含量(%)

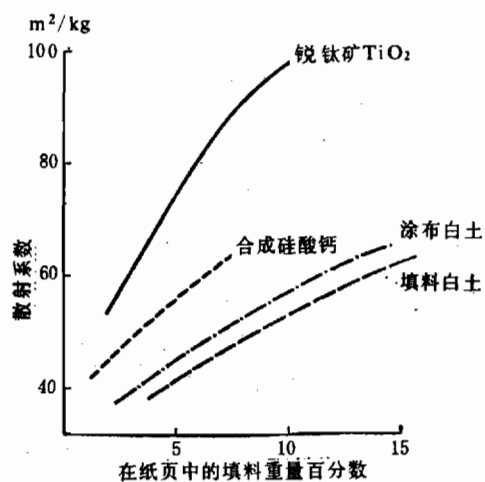


图 1-13-1 常用填料的比散射系数

表 1-13-5

纸浆及填料的比散射系数

纸浆及填料种类	比散射系数(m ² /kg)
化学浆	20~40
机械浆	50~70
沉淀 CaCO ₃	170~210
研磨 CaCO ₃	100~120
涂布白土	140~170
填料白土	120~150
锐钛矿 TiO ₂	400~550
金红石 TiO ₂	530~700

表 1-13-6

纸浆的散射系数

浆 种	亮 度 (在 457nm 波长下测得)	散 射 系 数 (100sf)
磨木浆	70	8.6
阔叶木硫酸盐浆	86	4.2
本色亚硫酸盐木浆	64.5	2.85
针叶木硫酸盐浆	90	2.5~3.0
针叶木硫酸盐浆(粗纤维)	86	2.2

注:所有浆种均抄成印刷纸,再测得上列数据。

二、加填的工艺计算

(一)常见纸张的加填量

【说明】见表 1-13-7。

(二)自动连续加填的流量控制计算

【公式】

$$Q = \frac{qBUGC'N}{60C} \quad (1-13-11)$$

式中 Q —— 填料流量(L/s)
 C —— 填料浓度(g/L)
 q —— 纸的定量(g/m²)
 B —— 上网纸页幅宽(m)
 U —— 车速(m/min)
 G —— 吨纸纤维耗用量(t)
 C' —— 成纸的干度(%)
 N —— 填料加用量(%)

表 1-13-7 常见纸张的加填量

纸 种	填 料 种 类	加 填 量(%)
书写纸	滑石粉、瓷土	4~10
凸版印刷纸	滑石粉、瓷土、碳酸钙、二氧化钛	5~40
胶版印刷纸	滑石粉、瓷土、二氧化钛	10~25
字典纸	滑石粉、碳酸钙、二氧化钛	20~30
有光纸	滑石粉、瓷土	10~20
打字纸	滑石粉、瓷土	20~25
新闻纸	滑石粉、瓷土、碳酸钙	2~6
卷烟纸	碳酸钙	35~40

(三) 填料留着率的计算

【说明】 填料留着率系指在成纸中所含填料量与加入纸浆中填料量的百分比(白水带入了的填料量不计)。其计算可用近似法和准确法两种。

1. 近似计算法

【公式】

$$R = \frac{A}{B} \times 100\% \quad (1-13-12)$$

式中 R —— 填料留着率(%)

A —— 绝干纸中的灰分含量(%)

B —— 绝干浆中的灰分含量(%)

2. 准确计算法

【说明】 如果将纤维本身的灰分及填料在灼烧时减少的重量计算进去,则计算结果比较准确。

【公式】

$$R = \frac{0.94A(100 - C - B)}{B(100 - C - A)} \quad (1-13-13)$$

式中 R —— 填料留着率(%)

C —— 绝干填料灼烧后重量损失(%)

0.94 —— 抄纸后纤维的得率及纤维原料和胶料中灰分平均含量的总修正系数

3. 单程填料留着率的计算

【说明】 该法比较简便,可用于指导生产。

【公式】

$$R_t = \frac{CX}{H} = 1 - \frac{TY}{H} \quad (1-13-14)$$

式中 R_t ——单程填料留着率(%)

C ——伏辊处纸幅干度(%)

T ——网下白水浓度(%)

H ——流浆箱浆浓(%)

X ——到达伏辊处的浆量占流浆箱浆量的比值, X 一般为 3~5%

Y ——通过网眼流失的浆量占流浆箱浆量的比值, 通常取 95~97%

(四) 二氧化钛添加量的变化引起不透明度变化的计算

【例】 一台造纸机, 抄宽 2.75m, 以车速 1000m/min 生产定量为 35g/m² 的航空信纸。用二氧化钛作填料, 获得纸的灰分含量为 6%, 不透明度为 80%。已知二氧化钛含量每增加 1%, 纸的不透明度能提高 2.5%, 二氧化钛在纸中的保留率为 60%。现在如果湿部二氧化钛加入量每小时增加 72kg, 纸的不透明度能达到多少?

解: 该造纸机的产量:

$$\frac{1000 \times 2.75 \times 35 \times 60}{10^6} = 5.775 (\text{t/h})$$

灰分含量 6% 时, 纤维含量:

$$5.775(1-6\%) = 5.428 (\text{t/h})$$

纸页中二氧化钛量为:

$$5.775 - 5.428 = 0.347 (\text{t/h})$$

如果二氧化钛留着率为 60%, 则原加入量为

$$\frac{0.347 \times 100}{60} = 0.578 (\text{t/h})$$

变更后的二氧化钛加入量:

$$0.578 + 0.072 = 0.650 (\text{t/h})$$

在成品纸中保留量为:

$$0.650 \times 60\% = 0.390 (\text{t/h})$$

变更后的产量:

$$5.428 + 0.390 = 5.818 (\text{t/h})$$

二氧化钛的百分含量:

$$\frac{0.390}{5.818} \times 100\% = 6.7\%$$

二氧化钛含量的增加:

$$6.7\% - 6.0\% = 0.7\%$$

纸的不透明度的提高:

$$0.7 \times 2.5\% = 1.75\%$$

变更后纸的不透明度:

$$80\% + 1.75\% = 81.75\%$$

(五) 由加填量计算成纸灰分和打浆周期

【例】 一台抄宽为 2.20m 的造纸机, 以车速 750m/min 生产 60g/m² 的纸, 成纸水分 7%。有 4 台打浆机, 每台打浆机的载荷为 1.5t 风干浆和 200kg 高岭土。抄造中纤维损失

4%，高岭土保留率为60%。计算：成纸灰分含量（假设高岭土在灰化时由于游离水和结合水而损失15%）？

解：因每台打浆机装纤维量1.5t，抄造损失4%，所以，可生产成纸纤维量：

$$1.5 \times 96\% = 1.44(\text{t})(\text{风干浆})$$

因装高岭土200kg，抄造中保留60%，所以，可提供成纸高岭土量：

$$0.200 \times 60\% = 0.120(\text{t})$$

则每台打浆机载荷可提供成纸的风干纤维和高岭土量为：

$$1.44 + 0.12 = 1.56(\text{t})$$

成纸中填料含量：

$$\frac{0.12}{1.56} \times 100\% = 7.69\%$$

成纸中灰分含量：

$$7.69\%(1-15\%) = 6.54\%$$

第十四章 造纸机网前供浆系统的 工艺与设备的计算

第一节 浆料的贮存工艺及设备计算

一、贮浆池容积的计算

【公式】

$$V = \frac{QT}{C} \quad (1-14-1)$$

式中 V —— 所需贮浆池的容积(m^3)

Q —— 所需贮存的浆料量(t/h)(绝干)

T —— 贮浆时间(h),视所在部位不同而异,筛后贮浆池一般要求贮存 4~8h,有时也多至 12~16h;对于纸机前贮浆池,一般低速纸机 3~4h,中速纸机 1~2h,高速纸机 0.5~0.8h

C —— 贮存浆料浓度(%),一般为 3~4%

【例】 纸厂纸机前需贮存绝干浆量为 0.8t/h,浆浓 4%,连续生产时间为 4h,求浆池容积。

$$\text{解: } V = \frac{QT}{C} = \frac{0.8 \times 4}{4\%} = 80(m^3)$$

【注意】 贮浆池有卧式和立式两大类,常用规格有 25、50、75、100、150、200 m^3 ,最大可达 500 m^3 ,实际应用中可根据上述计算按规格确定。

二、贮浆池个数的确定

【说明】 在选择贮浆池个数时,应统筹兼顾,全面考虑,既要考虑到尽量选用同一种型号,以利于备品互换、通用,又要考虑到建设投资,如建造一个 200 m^3 贮浆池造价一定比两个 100 m^3 的低,故可根据各种浆料所需容积的具体情况而定。

三、贮浆池排浆流量的计算

【说明】 通常,贮浆容器内浆料液面下降时其加速度是可以忽略不计的,为此,其流量随浆位高度的变化而变化。

【公式】

$$Q = 0.85F\sqrt{2gh} \quad (1-14-2)$$

式中 Q —— 排浆流量(m^3/s)

F —— 排浆管的横截面积(m^2)

h —— 液面高度(m)

0.85 —— 流量系数

【例】如直径为 3m 的贮浆池,以直径 0.2m 的排浆管在浆料重力作用下自由排浆,试计算浆位高度在 3m 及 2m 时的瞬时流量以及平均流量。

解:根据 $Q = 0.85F\sqrt{2gh}$, 当浆位高度为 3m 时:

$$Q_1 = 0.85 \times \frac{3.14}{4} \times 0.2^2 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 3} = 0.205 (\text{m}^3/\text{s})$$

当浆位高度为 2m 时:

$$Q_2 = 0.85 \times \frac{3.14}{4} \times 0.2^2 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 2} = 0.167 (\text{m}^3/\text{s})$$

在这段时间内的平均流量:

$$Q_0 = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{0.205 + 0.167}{2} = 0.186 (\text{m}^3/\text{s})$$

四、卧式贮浆池的工艺计算

(一) 浆料在浆池中的摩擦阻力计算

【说明】浆料在浆池中的摩擦阻力与浆浓及浆速的关系见表 1-14-1。

表 1-14-1

浆料在浆池中的摩擦阻力

浓 度 3%		浓 度 5%	
流速(m/min)	摩擦阻力(mH ₂ O/m)	流速(m/min)	摩擦阻力(mH ₂ O/m)
4.62	0.0125	5.50	0.06
4.21	0.0125	5.20	0.0525
3.81	0.0125	4.70	0.0525
3.53	0.01	4.30	0.0525
3.20	0.01	3.80	0.0525
3.00	0.01	3.40	0.05

(1mH₂O/m=9807Pa/m)

(二) 浆池内浓度与浆速的关系

【说明】浆池内浆度与流速的关系见表 1-14-1 及图 1-14-1。由图可看出,不同种类的浆料,在不同的浓度时,其流动的速度是不一样的。

(三) 浆料浓度与浆池长度的关系

【说明】见图 1-14-2。

(四) 采用螺旋桨推进器的贮浆池尺寸确定计算

1. 浆池的公称容积计算

【公式】

$$V = (0.85 \sim 0.90)LBH \quad (1-14-3)$$

式中 V —— 浆池的公称容积(m^3)

L —— 浆池内净长度(m)

B —— 浆池内净宽度(m)

H —— 浆池内净流深度(m)

2. 浆池尺寸与螺旋桨推进器直径的关系

【说明】如果初步选用的螺旋桨推进器的直径为 D , 则浆池的尺寸与 D 的关系见下式。

【公式】

$$\left. \begin{aligned} W &\leq 2.0D \\ H &\leq 3D \\ L &\leq (6 \sim 9)W \\ W_1 &\leq (1.7 \sim 2)W \end{aligned} \right\} \quad (1-14-4)$$

式中 W —— 自螺旋桨推进器流出的浆沟(即单流浆沟)的宽度(m)

W_1 —— 当浆池采用两具螺旋桨推进器而且有一条位于中间的汇流浆沟时该中间浆沟的宽度(m)

D —— 螺旋桨推进器的直径(m)

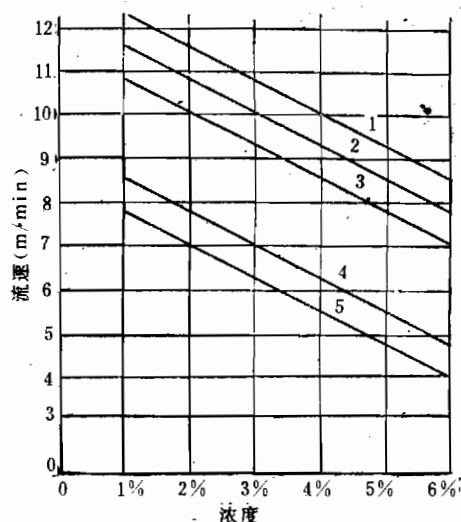


图 1-14-1 浆池内浓度与流速的关系

1—尾端粗浆、纸板浆 2—稻草浆 3—未漂硫酸盐浆

4—未漂亚硫酸盐浆、新闻纸浆、漂白亚硫酸盐浆及硫酸盐浆 5—磨木浆

(五) 浆沟中流速的选定计算

1. 双浆沟中流速的确定

【说明】 流速与纸浆的特性和浓度有关,可用曲线图 1-14-3 来选定浆沟的流速。

2. 三浆沟中流速的确定

【说明】 当浆池为沟宽不同的三沟浆池时,可用由图 1-14-3 选定的推荐浆速作为宽沟浆速与两侧窄沟把沟宽相加时的浆速的平均值 \bar{V} , 求出宽沟和窄沟中的浆速。

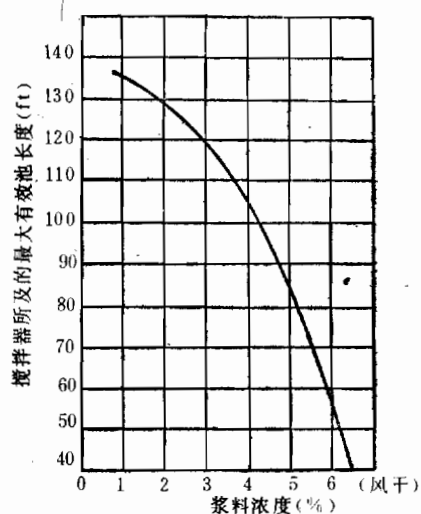
【公式】

$$V_1 = \frac{4W}{2W + W_1} \bar{V} \quad (1-14-5)$$

$$V = \frac{2W_1}{2W + W_1} \bar{V} \quad (1-14-6)$$

式中 V_1 —— 宽沟中的浆速(m/min)

V —— 窄沟中的浆速(m/min)



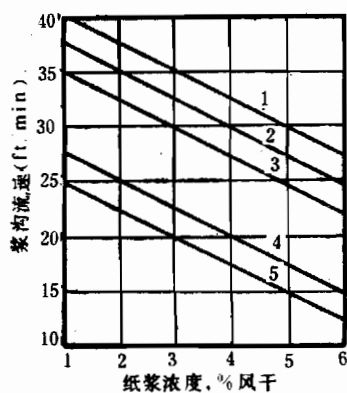
(1ft=0.3048m)

图 1-14-2 浆料浓度与浆池长度的关系

W_1 —— 宽沟沟宽(m)

W —— 窄沟沟宽(m)

\bar{V} —— 由图 1-14-3 选用的推荐浆速(m/min)



(1ft/min=0.3048m/min)

图 1-14-3 不同浓度下浆沟的流速

1—粗浆、尾浆和纸板用纸浆 2—草浆
3—未漂亚硫酸盐浆 4—漂白亚硫酸盐
浆及硫酸盐浆、新闻纸浆 5—磨木浆

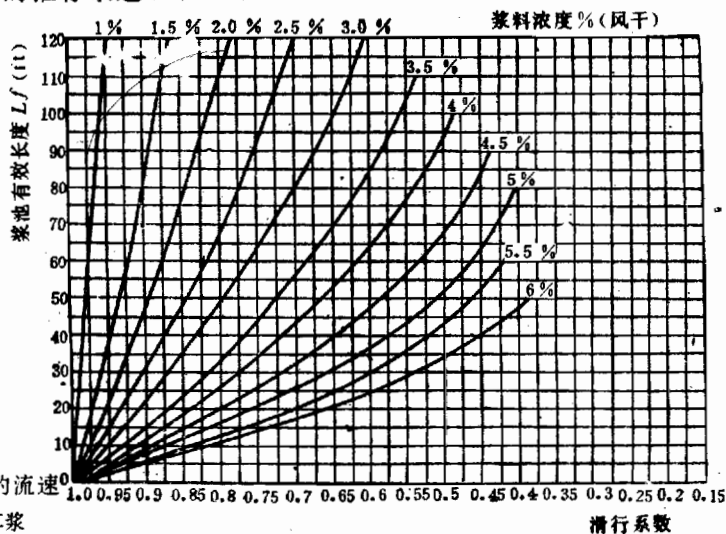


图 1-14-4 打滑系数

(六) 螺旋桨推进器每转推送浆量的计算

【公式】

$$q = \frac{1}{4} \pi^2 D^3 \tan \alpha \quad (1-14-7)$$

式中 q —— 每转推送浆量($m^3/\text{转}$)

α —— 螺旋桨的螺旋角(度)

D —— 螺旋桨推进器的直径(m)

(七) 螺旋桨的转数计算

1. 理论转数的计算

【公式】

$$n_t = \frac{Q}{q} = \frac{VHW}{q} \quad (1-14-8)$$

式中 n_t —— 理论转数(r/min)

Q —— 流量(m^3/min)

H —— 浆池内净流深度(m)

其它同上。

2. 实际转数的计算

【说明】 考虑到不同纸浆浓度时的摩擦损失,还应求得螺旋桨的实际需要转数。可由图 1-14-4 按实际纸浆浓度和实际的有效流动行程($L_t=2L$)查得相应的打滑系数 C ,然后即可求得实际转数。

【公式】

$$n = \frac{n_t}{C} = \frac{Q}{qC} \quad (1-14-9)$$

式中 n —— 实际转数(r/min)

c —— 打滑系数, 见图 1-14-3

L —— 浆池内净长度(m)

其它同上

(八)螺旋桨的功率计算

【说明】 浆池内浆料循环所耗功率指推进器实际所做的功, 即有效功率。

1. 理论算法

【公式】

$$N = \frac{\gamma Q h}{6120 \eta g} \quad (1-14-10)$$

式中 N —— 功率(kW)

γ —— 纸浆重度(N/m³), 取 9810N/m³

Q —— 通过螺旋桨的流量(m³/min)

h —— 扬程(m), 与摩擦损失有关, 指推进器吸入口和排出口的浆位差

η —— 效率, 通常为 0.8 左右

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

2. 列线图法

【说明】 利用 Pascal 列线图, 也可作为类似的轴流螺旋桨推进器功率计算的参考(见图 1-14-5)。如图所示, 图中共有 I 至 VII 7 条座标线, 其上数值共(1)至(8)组, 这些座标线的含义及数值如下:

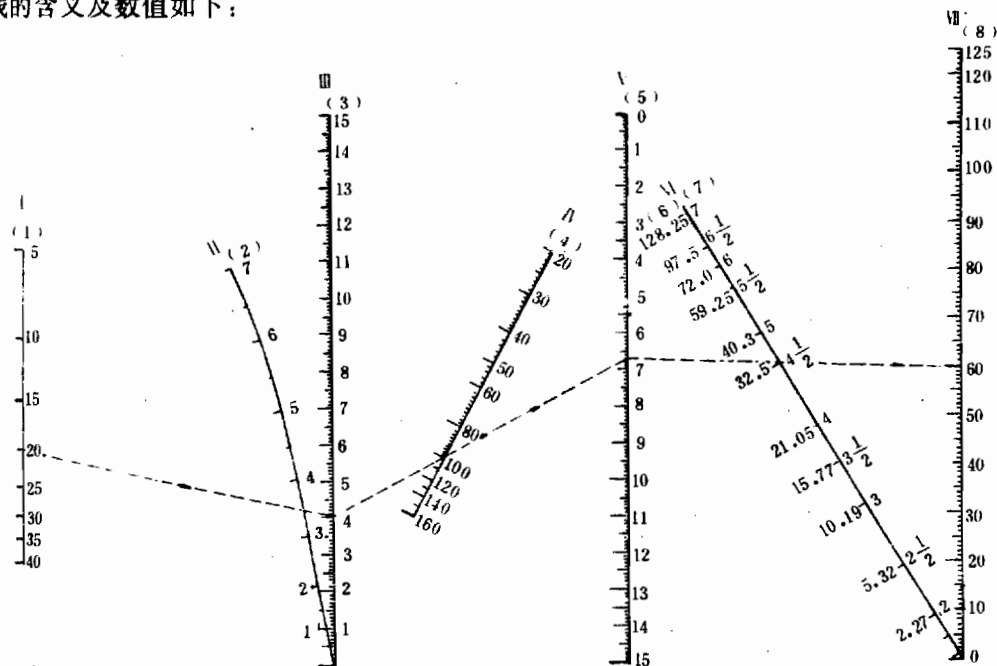


图 1-14-5 帕斯考尔(Pascal)螺旋桨推进器功率计算列线图

I —— 浆沟流速(ft/min)

II —— 纸浆的风干浓度(%)

III —— 相当于 60ft 有效流动行程时的摩擦损失, 以水位压头计(ft)

IV——通过一个螺旋桨的实际有效流动行程 L_t ($L_t = 2L$, L 为浆池内净长度)(ft)

V——指实际摩擦损失所消耗的压头(ft)

VI——代表理论推送量的螺旋桨公称直径规格,其数值组(6)为理论每转推送量(q) ($\text{ft}^3/\text{转}$);数值组(7)为相应的螺旋桨公称直径规格(ft)

VII——理论转数每 100r/min 的需用功率,已包括了螺旋桨的效率,可直接用来选配电动机,数值组(8)的单位为英马力[1 马力(英)=745.7W]

【例】 已知浆池长为 50ft,浆沟宽 10ft,深 10ft,贮浆浓度为 3.5%(风干),沟中浆速为 20ft/min,选用螺旋桨公称直径为 $4\frac{1}{2}$ ft,理论推送量为 $32.5\text{ft}^3/\text{转}$,求实际需用功率。

解:如图中虚线所示,按箭头所示方向,由浆速及浆浓得摩擦损失,再由实际流动行程得实际摩擦损失,再由公称直径或每转推送量得在理论转速 100r/min 时所需的功率为 60 马力(英)。因该浆池在上述浆速下按计算所得螺旋桨理论转速为:

$$n_t = \frac{Q}{q} = \frac{VHW}{q} = \frac{20 \times 10 \times 10}{32.5} = 62(\text{r/min})$$

故实际需用功率为:

$$100:60 = n_t:N$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{60n_t}{100} = \frac{60 \times 62}{100} \\ &= 37(\text{马力})(\text{英}) \\ &= 37 \times 745.7 \\ &= 27590.9(\text{W}) \end{aligned}$$

3. 表功率的计算

【说明】 表功率指输入电动机的功率,用三相功率表和单相功率对照测定。

4. 轴功率的计算

【说明】 轴功率指电动机传给推进器的功率。

【公式】

$$N_{\text{轴}} = N_{\text{表}} \eta \quad (1-14-11)$$

式中 $N_{\text{轴}}$ ——轴功率(kW)

$N_{\text{表}}$ ——表功率(kW)

η ——电动机效率(%)

5. 总效率的计算

【说明】 总效率是指有效功率与轴功率之比值,是评价推进器性能的主要指标。有实验测定,螺旋桨循环器 $\eta = 32\%$,涡轮桨循环器的 $\eta = 24\%$ 。

【公式】

$$\eta = \frac{N}{N_{\text{轴}}} = \frac{100QH}{6.12N_{\text{轴}}} \quad (1-14-12)$$

式中 η ——总效率(%)

N ——有效功率(kW),计算见式 1-14-10

其它同上

(九)螺旋桨所用电机的选择

【说明】 多数情况下,都是根据所积累的浆池容积和贮浆浓度、螺旋桨规格及转速,

浆池浆沟尺寸及其中流速等参数相近的实际消耗功率数而得到的经验数据来选配螺旋桨电动机的;也可根据计算所得的功率消耗来选择电动机。

(十)螺旋桨循环器的主要特性及选择

【说明】常用螺旋桨推进器的主要特性及规格见表1-14-2。纤维粗而长,易于缠绕在搅拌器上的浆料,多采用螺旋桨式循环器,它也属于轴流式,但叶轮较窄,有导流式。螺旋叶片由3~4片组成,叶片的表面积对浆料的翻动有很大关系,表面积大,浆料混合效果好。

螺旋桨循环器的参考规格见表1-14-3。此类循环器多装于方形浆池中,也可加导流环安装于双沟式浆池中。每分钟通过浆池通道的浆量=推进器推动的断面积(mm^2) \times 通道内浆的流速所推荐的转速(r/min)。应当比理论的略高,以克服滑动损失。这种参考规格的螺旋桨循环器可根据浆池断面面积由图1-14-6查得。

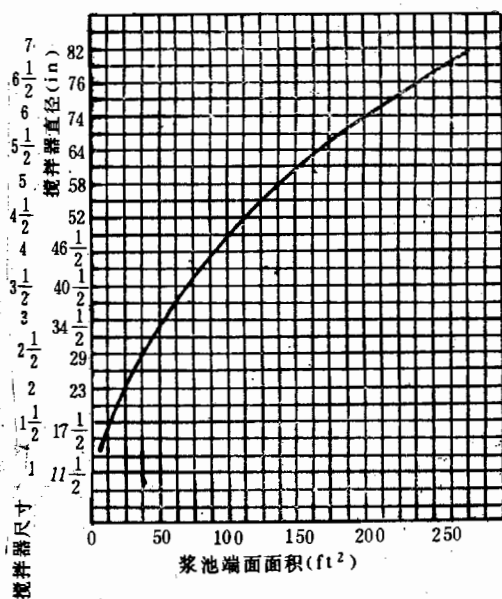


图 1-14-6 螺旋桨循环器的选择

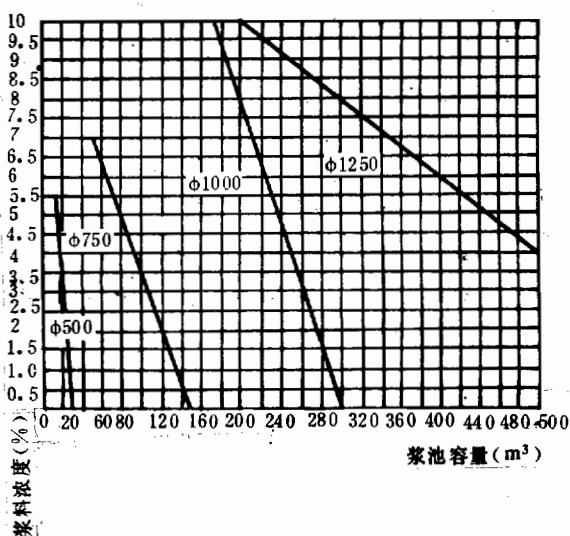


图 1-14-7 ZTU 型涡轮循环器的选择

表 1-14-2

螺旋桨循环器的主要特性和规格

项 目	型 号	ZTJ ₁	ZTJ ₁ J	ZTJ ₂	ZTJ ₂ T
叶轮直径(mm)		700		1000	
螺距(mm)		1015		1300	
盘面比		0.665		0.665	
转速(r/min)		200		180	
最大作用长度(m)		15		20	
排浆量(m^3/min)		36		90	
重量(kg)		525		950	
电动机		13kW		22kW	

(十一)涡轮循环器的规格及选择

【说明】ZTU 型涡轮循环器的规格见表1-14-4。按其叶轮直径有四种规格,其工作

(十三) 螺叶式搅拌器的计算

1. 螺叶式搅拌器的特性及选择

【说明】螺叶式搅拌器主要用于贮存粗浆、浆渣和长纤维浆的浆池。带有畚斗的螺叶式搅拌器浆池主要用于纸机前。表 1-14-6 为螺叶式搅拌器的型号规格。

选择可根据计算所得浆池容积按型号选取。

表 1-14-6 螺叶式搅拌器的型号和规格

型 号	ZTY ₁	ZTY ₂	ZTY ₃	ZTY ₄	ZTY ₅	ZTY ₆	ZTY ₇
项 目							
浆池容积(m ³)	2	5	5	10	10	25	25
螺叶尺寸(mm)	Φ1000×1900	Φ1400×2300	Φ1400×2300	Φ1900×2300	Φ2100×2400	Φ2700×3500	Φ2900×3480
畚斗容积(L/个)			3		5		5
畚斗轮线速(m/s)			0.62		0.64		0.6
畚斗数(个)			6		12		16
重量(kg)	500	600	2330	960	1640	2000	5700
电动机功率(kw)	2.2	2.2	2.8	4	4	5.5	5.5

2. 螺叶搅拌器和桨叶搅拌器的传动功率计算

【说明】螺叶搅拌器被采用于某些长纤维纸浆的搅拌或生产高级纸的中小型低速造纸机的车间；桨叶搅拌器常用于卧式贮浆池的搅拌。

【公式】

$$N = \frac{0.25KLYn\omega^3}{g\eta}(R^4 - r^4) \quad (1-14-13)$$

式中 N —— 螺叶或桨叶搅拌器的传动功率(W)

K —— 系数,取 8~10

L —— 螺旋或桨叶长度(m)

γ —— 纸浆重度(N/m³)

n —— 螺叶或桨叶片数

ω —— 轴的角速度(1/s)

$$\omega = \frac{V}{R} = 2\pi n \quad (1-14-14)$$

V —— 圆周速度(m/s),一般为 0.5~0.8m/s

n —— 转速(r/min),一般为 4~6.5r/min

η —— 搅拌器效率(%)

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

R, r —— 螺叶或桨叶外缘及内缘至回转中心线的距离(m)

第二节 纸料净化系统工艺计算

【例】某长网造纸机的湿部浆水系统如图 1-14-8。造纸机抄宽为 3.5m,车速为 250m/min。生产 66g/m² 的纸,成纸水分为 10%。漏浆率为 90%(以体积计)和 50%(以固体物计)。在良好操作条件下,进入流浆箱和离心净化器的纸料浓度分别为 5g/L 和 9g/L,网坑白水溢流量 500L/min。假设离心净化器的损失忽略不计。计算:

①稀释由离心净化器至流浆箱的纸料的网坑白水量 V_3 ;

②送至离心净化器的纸料流量 V_3 ;

③浓纸料的体积流量 V_1 ;

解:造纸机产量:

$$66 \times 3.5 \times 250 = 57750 (\text{g/min})$$

离开网部的绝干纤维量(假设网部和卷曲部之间无损失):

$$V_7 C_4 = 57750 (1 - 10\%) = 51975 (\text{g/min})$$

网部固形物漏网率为 50%, 则:

$$V_7 C_4 = 5 V_6 (1 - 50\%)$$

$$\text{故: } V_6 = \frac{51975}{2.5} = 20790 (\text{L/min})$$

$$\text{同理, } \frac{V_4 C_2}{5 V_6} = 50\%$$

又网部漏网率为 90% (以体积计)

$$\text{即 } \frac{V_4}{V_6} = 90\%$$

$$\text{故: } C_2 = \frac{50\% \times 5}{90\%} = 2.78 (\text{g/L})$$

$$V_4 = 0.9 V_6 = 0.9 \times 20790 = 18711 (\text{L/min})$$

在混合部位“A”处, 取浆流体积平衡:

$$V_6 = V_5 + V_3$$

取固形物平衡:

$$5 V_6 = 2.78 V_5 + 9 V_3$$

$$\text{解之得: } 5 V_6 = 2.78 V_5 + 9 (V_6 - V_5)$$

$$\text{即: } 4 V_6 = 6.22 V_5$$

故: 从网坑用作二次稀释的白水体积为:

$$V_5 = \frac{20790 \times 4}{6.22} = 13370 (\text{L/min})$$

②进入离心净化器的浆料体积:

$$V_3 = V_6 - V_5 = 20790 - 13370 = 7420 (\text{L/min})$$

③在网坑处取流量体积平衡:

$$V_5 + V_2 + 500 = V_4$$

$$V_2 = V_4 - (V_5 + 500) = 18711 - (13370 + 500)$$

$$= 4841 (\text{L/min})$$

在混合部“B”处取浆流体积流量为:

$$V_3 = V_2 + V_1$$

送入浓纸料的体积流量为:

$$V_1 = V_3 - V_2 = 7420 - 4841$$

$$= 2529 (\text{L/min})$$

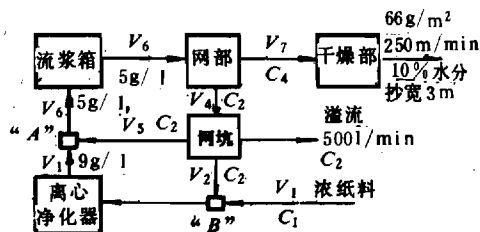


图 1-14-8 纸料净化浆水平衡图

第三节 配浆的工艺计算

一、鼓式配浆器的工艺计算

【说明】 鼓式配浆器是用调节计量转鼓的转数的方法来控制各种浆料、辅料的流量的。按照计量转鼓结构的不同,鼓式配浆器可分为卧式转鼓和立式转鼓两种。

(一)立式转鼓配浆器送浆量的计算

【说明】 这是一种老式的鼓式配浆器,又叫春培——梯比茨(Trimbey—Tibbits)配浆器,辅料的计量流送往往是采用有溢流的计量槽或单独的计量来实现的。

【公式】

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 L n \quad (1-14-15)$$

式中, Q —— 送浆量(m^3/min)

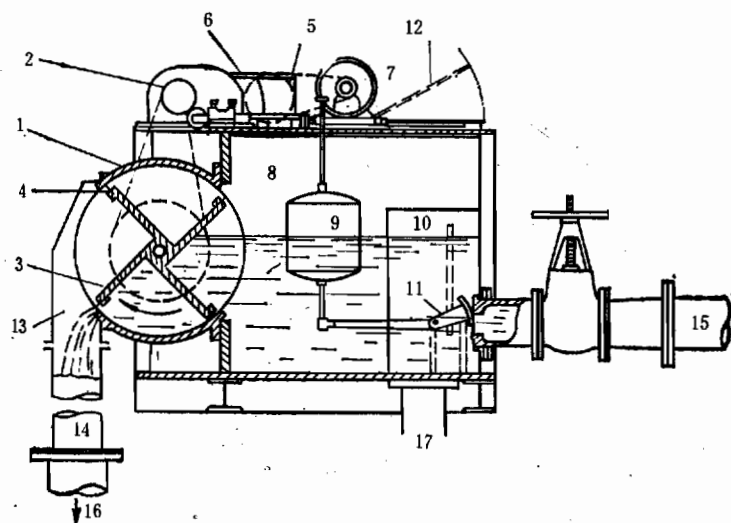
L —— 计算转鼓浸没在原料格仓中的浆位以下的高度(m)

D —— 计量转鼓直径(m)

n —— 计量转鼓的转速(r/min)

(二)卧式转鼓配浆器输出浆料的计算

【说明】 这是立式转鼓配浆器的改进型式,又叫春培(Trimbey)配浆器,如图 1-14-9。可按需要的浆料及辅料的种类以及流量组成不同的规格,最多时可处理五种浆料及填料、胶料、明矾、淀粉以及颜料等六种辅料。



- 1—计量器 2—减速器
- 3—转鼓 4—橡皮条 5—主变速器 6—变速器
- 7—电动机 8—格仓 9—浮筒 10—溢流仓 11—浮动阀 12—检视盖
- 13—出料斗 14—混合浆槽 15—进浆 16—至成浆池 17—清洗门及回至贮浆池的溢流浆管

图 1-14-9 春培式配浆器

【公式】

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 L n \quad (1-14-16)$$

式中 Q —— 输送浆量(m^3/min)

D —— 计量转鼓的直径(m)

L —— 转鼓的长度(m)

n —— 计量转鼓的转速(r/min)

二、孔板式配浆器孔板流量的计算

【说明】孔板式配浆器是一种基于流体力学原理的机械配浆器。它以各种结构的孔板作为计量元件,借改变孔板开口的有效面积来调节流量。其结构比较简单,工作可靠,配浆精度较高。但它不适用于含长纤维的游离浆以及易于絮聚的纸浆;另外在流量 Q 小于 0.6L/min 时不适用。孔板式配浆器的结构见图 1-14-10。

【公式】

$$Q = AC\sqrt{2gH} \quad (1-14-17)$$

式中 Q —— 液体通过孔板的流量(m^3/s)

A —— 孔板开口的有效面积(m^2)

C —— 流量系数,应对不同条件下的浆料和辅料进行实测,当孔的形状基本不变而尺寸(面积)改变时, C 值的变动范围为 $\pm 1 \sim 1.5\%$; C 值一般取 0.5(菱形或矩形开孔)。圆形孔取 0.85

g —— 重力加速度(9.81m/s^2)

H —— 相对于孔板开口中心以上的液面高度(m)

【注意】一般情况下,孔的形状取为菱形或矩形。

三、压力式配浆箱的输送浆量计算

【说明】图 1-14-11 是压力式配浆箱的示意图。通过控制开孔 D 的面积而达到控制配比的目的。开孔 D 是由一固定方形孔与一块活动的 V 形板所构成。 V 形板上下移动可以改变开孔的面积,但开孔的形状始终保持正方形,可使流量系数保持不变。压力式调浆箱可一次调配 2~4 种浆料,是一种简单的调浆装置。

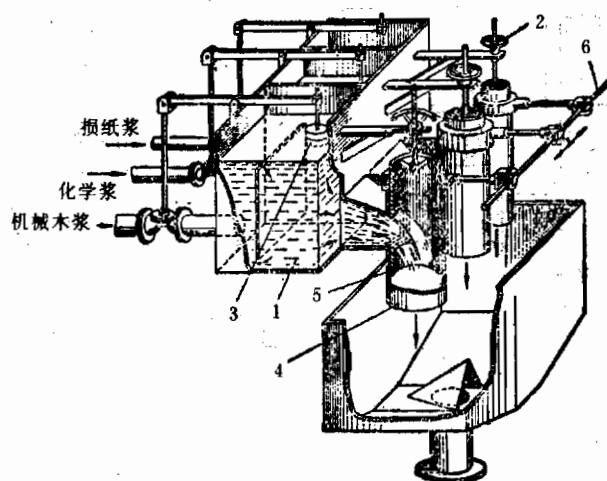


图 1-14-10 孔板式配浆器

1—配浆箱 2—内筒升降装置 3—浆位控制器
4—外筒 5—内筒 6—内筒旋转装置

【公式】

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

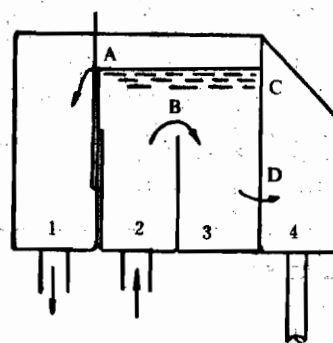


图 1-14-11 压力式配浆箱

A、B、C—隔板 D—开孔 1—溢流浆箱
2—进浆箱 3—稳浆箱 4—出浆箱

(1-14-18)

式中 H ——液面高度(m)

其它同上

【注意】由式 1-14-18 可知,如果开孔 D 的面积不变,利用溢流板 A 升降改变浆位 H ,可以改变纸浆的总流量。

第四节 调浆箱的工艺计算

一、调浆箱稀释用白水量的估算

【说明】稀释过程中的纸料量和白水量,可以通过浆水平衡计算来实现,但计算比较复杂,用下式可进行快速估算。

$$\text{【公式】} \quad Q = \frac{G}{C_1} \cdot \frac{C_1 - C_3}{C_3 - C_2} \times 100\% \quad (1-14-19)$$

式中 Q ——稀释用白水量(m^3/min)

G ——由调浆箱送往抄纸机的纸料量[t(绝干)/min]

C_1 ——由调浆箱送往纸机的纸料浓度(%)

C_2 ——稀释用白水的浓度(%),如果稀释是采用白水与其它循环浆料的混合液,则为混合后的浓度

C_3 ——流浆箱浓度(%),对于圆网造纸机纸料的第一级稀释,可取其净化筛选的浓度

二、调浆箱送往纸机的纸料量计算

(一)长网纸机

$$\text{【公式】} \quad G = \frac{L}{W} Gr \quad (1-14-20)$$

式中 G ——纸料量[t(绝干)/min]

L ——堰口的长度(m)

W ——网部切边后纸页的宽度(m)

Gr ——卷取部的产量[t(绝干)/min]

$$Gr = BSWr \quad (1-14-21)$$

B ——纸页绝干定量(g/m^2)

S ——卷取速度(m/min)

Wr ——卷取纸宽(m)

【注意】上述计算,没有考虑各部分的损失及回流量,因此,应将计算结果至少再加上10%的余量,作为估算的结果。

(二)圆网纸机

$$\text{【公式】} \quad G = Gr \quad (1-14-22)$$

式中符号含义及单位同上

【注意】内容同长网造纸机。

第十五章 长网造纸机的工艺计算

第一节 网前箱的工艺计算

一、锥管布浆器的工艺计算

【说明】 锥管布浆器是目前被广泛采用的布浆器。锥管的截面形状可以是圆形、矩形或弓形。见图 1-15-1。

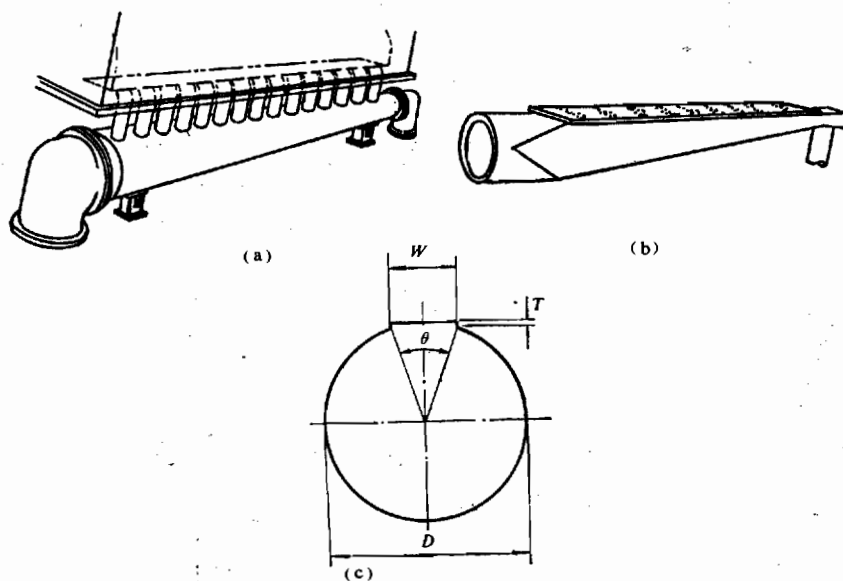


图 1-15-1 锥管布浆器

a—圆形锥管 b—矩形锥管 c—弓形锥管的截面

(一)总管进浆量的计算

【公式】

$$Q_2 = (1 + a + b)Q_1 \quad (1-15-1)$$

式中 Q_2 ——总管进浆量(m^3/s)

Q_1 ——上网浆量(m^3/s)

a ——总管回流率(%),一般情况下 $a = 10 \sim 15\%$ (单管进浆布浆器 $a = 0$)

b ——流浆箱溢流浆率(%),一般取 $b = 5 \sim 10\%$,没有溢流装置的流浆箱 $b = 0$

(二)锥管细端回流率的计算

【说明】 锥管细端回流的作用主要是保证支管或孔板上游侧浆流压头的稳定与匀布,同时防止在锥管末端有死区或涡流,起着清洗作用来防止浆团聚集,同时,还提供了一个补偿锥管中流态变化的调节手段。

【公式】

$$a = \frac{Q_3}{Q_2} \times 100\% \quad (1-15-2)$$

式中 a —— 回流率(%)

Q_2 —— 总管进浆量(m^3/s)

Q_3 —— 细端回流浆量(m^3/s)

(三) 加速比的计算

【说明】 加速比是锥管的一个几何尺寸参数,并不直接反映从锥管流向流浆箱的平均计算浆流速度与锥管中浆流速度的比例关系。只是当锥管内流速不变时才直接表示支管中或孔板中的流速对于锥管进口截面处的流速的比值。

【公式】

$$m = \frac{A_0 - A_1}{A_2} = \frac{V}{V_0} \quad (1-15-3)$$

式中 m —— 加速比, $m > 1$ 时,意味着锥管进口截面面积大于锥管全部流出口截面面积之和; $m < 1$ 时,则前者低于后者

A_0 —— 锥管进口截面面积(m^2)

A_1 —— 锥管细端回流口截面面积(m^2)

A_2 —— 锥管向流浆箱输送纸浆的流道截面面积或是支管或孔板上孔的进口截面面积之和(m^2)

V —— 支管中或孔板孔中的流速(m/s)

V_0 —— 锥管进口截面处的流速(m/s)

(四) 锥管细端流速和流量的计算

【公式】

$$V_1 = \frac{Q_3}{A_1} \quad (1-15-4)$$

$$Q_3 = aQ_2 = Q_2 - Q_1 \quad (1-15-5)$$

式中 V_1 —— 细端回流浆速(m/s)

Q_3 —— 细端回流浆量(m^3/s)

其它同上

(五) 锥管尺寸的设计计算

【说明】 锥管布浆器的基本要求是自每个支管或孔板的孔中流向流浆箱的流量相等。有关锥管需要通过计算确定的尺寸如图 1-15-2。锥管尺寸的计算通常采用拜纳斯(Baines)方程式进行。

【公式】

$$\frac{A}{A_0} = Ke^r \quad (1-15-6)$$

$$r = \frac{fx}{8R_s} \quad (1-15-7)$$

$$K = 1 - \frac{x}{L}(1 - a) = a + (1 - a) \frac{L - x}{L} \quad (1-15-8)$$

式中 A —— 在距锥管进口端面 x 处的截面上的锥管截面面积(m^2)

A_0 —— 锥管进口端面的面积(m^2)

K —— 流量比, 距锥管进口端面 x 处的截面上的流量与锥管进口端流量之比

x —— 被考虑的截面距锥管进口端面的距离(m)

L —— 锥管全长, 指锥管向流浆箱体送浆的喷缝全长, 对有支管组时, 则为锥管进口端的第一支管以前半个管距处的截面与锥管回流端的最后支管以后半个管距处的截面之间的距离(m)

a —— 锥管细端回流率(%), 见式 1-15-2

e —— 自然对数的底, $e = 2.718$

f —— 摩擦系数, 通常可取 $f = 0.015$

R_s —— 水力半径(m)

$$R_s = \frac{A'}{n}$$

$$\text{对于圆形截面: } R_s = \frac{D}{4}$$

$$\text{对于矩形截面: } R_s = \frac{BH}{2(B + H)}$$

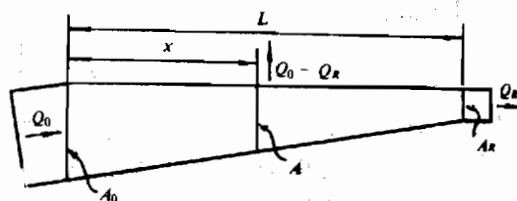


图 1-15-2 锥管计算图

A_1 —— 湿润面积(m^2)

n —— 湿润周长(m)

D —— 圆形截面的直径(m)

B, H —— 矩形截面的宽和高(m)

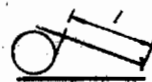


图 1-15-3 闸辊距闸口的距离

【计算依据及步骤】 在较精确的分段计算中要采用试算法, 其步骤如下。

① 确定有关基础数据

根据产量、车速、上浆浓度等所决定的锥管进浆量 Q 以及选定的锥管进口端面处的流速 V 。求出进口截面积 A_0 。锥管全长 L 。把锥管全长分成 n 个等份来决定所考虑的截面距锥管进口端面的距离 x_i 以及由此得出的 $\frac{x}{L}$ 比值; 锥管细端回流率 a , 通常取 $a = 0.12$; 确定摩擦系数 f , 可取 $f = 0.015$ 。

② 计算水力半径 R_s

要先假设出所考虑的各个截面上的尺寸参数 D 或 H 及 B 。为此, 一般情况下都用已知的 A_0 值绘出一个锥管纵剖面简图, 对于窄幅纸机, 可直接用式 1-15-6 在 $x = L$ 的条件下求出锥管回流端面面积 A_1 。对于矩形锥管, 通常都采用等宽的, 即 $B = \text{常数}$ 。因此, 截面尺寸中就只剩下一个变数——高 H_0 。由 A_0 及 A_1 可求得圆截面的直径 D_0 及 D_1 或等宽矩形截面的高 H_0 及 H_1 。按所得的锥管进口端和回流端面的直径或高连接直线绘出初步的锥管纵剖面, 并按几个等分段从图上按比例尺量得所考虑的中间诸截面上的直径 D_i 或高 H_i 。 D_i 或高 H_i 也可由下式求得:

对于等宽矩形锥管:

$$D_i = D_0 - \frac{x}{L}(D_0 - D_1) \quad (1-15-9)$$

$$H_i = H_0 - \frac{x}{L}(H_0 - H_1) \quad (1-15-10)$$

对于圆形截面的锥管：

$$D_i = \sqrt{D^2 - \frac{x}{L}(D_0^2 - D_1^2)} \quad (1-15-11)$$

由以上求得的 D_i 或 H_i 即可用来计算初设的水力半径 R_s ，再代入拜纳斯方程进行其它尺寸的计算。

【讨论】 用拜纳斯方程来计算锥管布浆器的各段截面积在理论上并非完善。它也不是锥管截面计算的唯一算式。但该法计算较为简便，且结果较满意。

在决定了加速比、支管数、支管面积和支管中流速之后，对于圆形截面的锥管，还可以用下式来计算锥管的各截面积：

$$A_{i+1} = \frac{A_i V_i - A_2 V_2}{\sqrt{V_i^2 \left(1 - \frac{fL}{n-1} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{A_i}}\right)}} \quad (1-15-12)$$

式中 A_i, A_{i+1} —— 在第 i 根和第 $i+1$ 根支管中心剖面处的锥管截面积 (m^2)

A_2 —— 支管截面积 (m^2)

V_2 —— 支管中的流速 (m/s)

n —— 支管数

L —— 锥管在首、末两根支管中心间的长度 (m)

f —— 摩擦系数，通常可取 0.0225

V_i —— 在 A_i 截面上的锥管流速 (m/s)

$$V_i = \frac{A_{i-1} V_{i-1} - A_2 V_2}{A_i} \quad (1-15-13)$$

对于第一根支管中心处的锥管截面，要先定出其直径及流速，即已知 A_1 及 V_1 ，然后，逐根支管顺序计算下去。通常可用列表法（前面的计算同样适用）计算，用求得的 A_2, A_3, \dots 算出 D_2, D_3, \dots 等值，在图上就可绘出锥管的轮廓线来。计算所得的圆锥管外形轮廓线不是直线，在实际中无法制造，因此，要分段圆整成几段直线。这样，圆锥管布浆器就是由几段锥度不同的直母线圆锥管相接而成。当 L 短于 3.5m 时，通常可分为四段制造，自大头算起的第一段最长，顺序地减短各段锥管的长度而直到小头的第四段最短。这四段直母线圆锥管的长度按锥管全长 L 的百分率计算可取 63%、24%、9% 及 4%。

二、匀浆辊的工艺计算

（一）匀浆辊孔辊的辊径的计算

【说明】 匀浆辊孔辊的直径应按所在流浆箱流道的浆位高度或流道尺寸来选定。一般所选辊径应略小于流道高度或浆位高度。

【公式】

$$H_i = \frac{Q_i}{V_i B_i} \quad (1-15-14)$$

式中 H_i —— 流道高度或浆位高度 (m)

Q_i —— 该流道中最大浆流流量 (m^3/s)

V_i —— 该流道中的计算流速(m/s)

B_i —— 该流道的内净宽度(m)

(二)孔辊的位置计算

【说明】孔辊应设置在浆流方向不变的直向流道(段)中,不应设置在浆流转向处。孔辊位置尺寸中最关键的一个参数是闸辊下游侧圆周距闸口唇板前缘的距离 l (见图 1-15-3),这个距离是关系到孔辊的波迹效应所导致的浆面波纹是否会在喷浆闸口以外的自由浆面上出现的一个重要参数。通常,孔辊所导致的浆面波迹在距孔辊下游侧面 lw 距离处才能完全消失。

【公式】

$$lw = \frac{KV^{3/4}d^{1/2}}{D^{1/3}} \quad (1-15-15)$$

式中 lw —— 孔辊所致浆面波迹消失时距孔辊下游侧面的距离(m)

d —— 孔辊的孔径(in)

D —— 孔辊的辊径(in)

K —— 系数,与孔径和开孔率有关,见图 1-15-4

V —— 浆流通过辊孔时的流速(ft/s)

$$V = \gamma V' \quad (1-15-16)$$

V' —— 在孔辊下游侧紧靠孔辊处(与孔辊相切的)收敛流道入口截面上的最大浆速(ft/s)

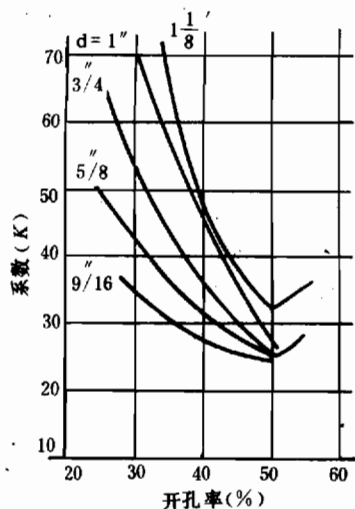


图 1-15-4 与孔径和开孔率有关的系数 K

γ —— 常数,与孔径有关:

孔径为 1in 时, $\gamma = 0.846$

孔径为 7/8in 时, $\gamma = 0.7635$

孔径为 3/4in 时, $\gamma = 0.683$

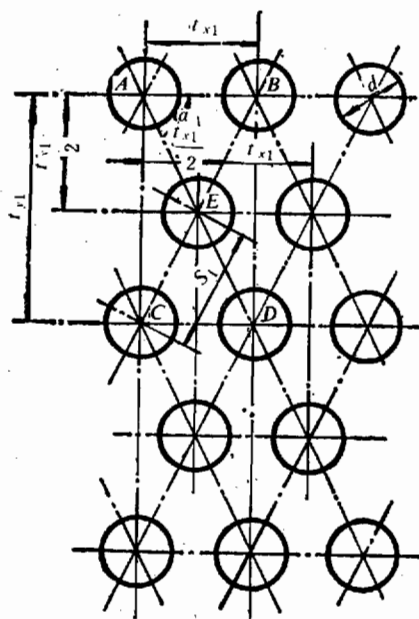


图 1-15-5 棋盘形排孔

【讨论】据介绍,当 lw/l 值在 1.6 以下时,闸口处浆面的波迹将显著出现; lw/l 值小于 1 是理想的情况,一般可采取下式确定 l :

$$l = 20d \quad (1-15-17)$$

式中 d —— 闸辊上的孔径(m)

另外,上式属英制单位,1ft=0.3048m,1in=25.4mm

(三) 辊面排孔的计算

【公式】

$$n = \frac{4\lambda D l}{d^2} \quad (1-15-18)$$

式中 n —— 孔辊辊面上的孔数

λ —— 开孔率(%)

D —— 孔辊辊径(外径)(m)

l —— 孔辊辊面钻孔段的宽度(m)

d —— 孔径(m)

(四) 开孔率的计算

【说明】 孔辊的开孔率可按单元三角形的面积来计算。即把相距最近的三个邻孔的中心联接起来,三条联心线相交成为一个三角形,称为单元三角形。单元三角形的面积随孔的排列形式的不同而异,但都与单元矩形有关。令孔辊轴向相邻两孔距为 tx ,孔辊周向相邻两孔距为 ty ,这样在任意相邻三孔(x 、 y 方向)之间构成一个以 tx 、 ty 为边长的矩形,称为单元矩形。

【公式】

$$\lambda = \frac{\frac{1}{2}(\frac{\pi}{4}d^2)}{A_0} = \frac{\pi d^2}{8A_0} \quad (1-15-19)$$

式中 λ —— 开孔率(%)

d —— 孔径(m)

A_0 —— 单元三角形的面积(m^2)

1. 棋盘形排孔开孔率的计算

【说明】 棋盘形排孔见图 1-15-5。

【公式】

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{2tx_1ty_1} \quad (1-15-20)$$

式中 λ —— 开孔率(%)

tx_1 —— 沿辊轴向(x 向)上相邻两孔间的距离(mm)

ty_1 —— 沿孔辊圆周方向(y 向)相邻两孔之间的距离(mm)

2. 单螺旋线排列开孔率的计算

【说明】 单螺旋线排孔见图 1-15-6。

【公式】

$$\lambda = \frac{m\pi d^2}{4tx_2 \cdot ty_2} \quad (1-15-21)$$

式中 λ —— 开孔率(%)

m —— 单元矩形中沿主螺旋线上的孔数(包括位于矩形对角线两顶点上各半个孔径作为半孔来计算)

tx_2 、 ty_2 —— 分别为单螺旋线排孔时沿 x 及 y 轴方向上的孔距

3. 双螺旋线排孔开孔率的计算

【说明】 双螺旋线排孔见图 1-15-7。该排孔形式中的单元三角形可以是等边三角形或任意三角形。一般推荐采用等孔距等边单元三角形。

【公式】

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{2\sqrt{3}S^2} \quad (1-15-22)$$

式中 S —— 等边单元三角形的边长(m)

其它同前

(五) 浆料通过孔辊的压头损失计算

【说明】 浆料通过孔辊所造成的压头损失可用下式计算。

【公式】

$$\Delta P = \frac{4Q^2(1-\lambda)}{\pi^2 D^2 L^2 \lambda^2 \mu^2} \quad (1-15-23)$$

式中 ΔP —— 孔辊造成的压头损失(kPa)

Q —— 浆流流量(m^3/s)

D —— 孔辊直径(m)

L —— 孔辊面宽(m)

λ —— 开孔率(%)

μ —— 辊孔的收缩系数, λ 和 μ 的关系见表1-15-1

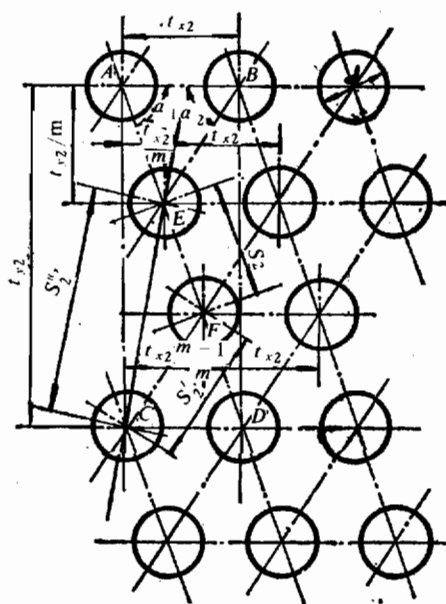


图1-15-6 单螺旋线排孔

表1-15-1

浆流通过辊孔的收缩系数与开孔率的关系

开孔率(%)	35	40	45	50
浆流收缩系数 μ	0.646	0.661	0.677	0.696

(六) 匀浆辊距堰板的最小距离计算

【说明】 流浆箱内通常使用2~5个匀浆辊,其中至少有一个匀浆辊置于堰板正前方。堰板前匀浆辊的放置位置非常关键。如果匀浆辊放得离堰板太近,则匀浆辊产生的湍流没有足够的时间在离开堰板前衰减,为了防止喷浆内的尾流,Wardon 提出一个用来确定纸机车速低于600m/min 时匀浆辊距堰板的最小距离计算公式,超过600m/min 车速时则必须采用校正系数。

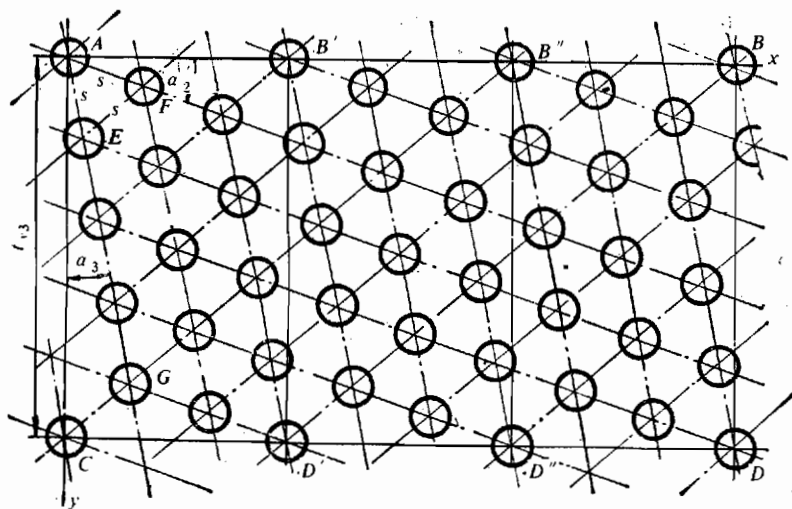


图1-15-7 双螺旋线排孔

【公式】

$$L = KV^{4/3}d^{1/2}D^{-1/3} \quad (1-15-24)$$

式中 L —— 距堰板的最小距离(in)

K —— 尾流常数

V —— 穿过孔的浆速(in/s)

d —— 孔径(in)

D —— 匀浆辊的直径(in)

【讨论】 若要加大喷射浆流的着网角度,增加送往胸辊的浆料量可能使尾流效应增大,此时有必要将匀浆辊移至比计算距离更近的距离,或使用一个孔径更小的辊子。由匀浆辊产生的湍流随孔径及流速的增大而增大,随开孔面积的增大而减弱。

三、孔板的工艺计算

【说明】 孔板能使浆流加速,产生较大的压力降,可作为匀整装置来使浆流流速均匀、分散纤维束,产生较小的湍动。在老式流浆箱中,因浆流压力及流速甚低,孔板在低速下挂浆的问题不易克服,因而渐被孔辊所取代。在浆流流速比较高的流送系统中,孔板则不论在加工制造、运行操作、适应性等方面均比孔辊优越;在匀整效果上,如果流速及纸浆特性等条件适合,也比孔辊更显著。孔板的结构见图1-15-8。孔板的其它计算见第317页。

(一) 孔板孔数的计算

【公式】

$$n = \frac{4Q}{\pi dV} \quad (1-15-25)$$

式中 n —— 孔板的孔数(个)

Q —— 浆料流量(m^3/s)

V —— 孔中流速(m/s), 通常为 $3.5 \sim 5.0 \text{m/s}$

d —— 孔径(m)

(二)孔板浆流产生的压力降的计算

【说明】 孔板上下游产生的压力降可按孔型及其尺寸计算。对于常见的有锥形入口的孔板压力降(见图1-15-8a)可按下式计算。

【公式】

$$\Delta P = (0.64 + 2f \frac{T}{d}) \frac{V^2}{g} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-26)$$

$$\text{或} \quad \Delta P = (0.64 + 2f \frac{T}{d}) V^2 \quad (\text{kPa}) \quad (1-15-27)$$

式中 ΔP —— 压力降(mH_2O 或 kPa)

f —— 摩擦系数, 对光洁度高的孔板可取 $0.012 \sim 0.015$

T —— 孔板厚度(m), $T \geq 3d$ 并 $T \geq 50\text{mm}$

d —— 孔板的直径(m), 一般为 $7 \sim 20\text{mm}$

V —— 孔中流速, 可取 $3.5 \sim 5.0 \text{m/s}$

四、阶梯扩散器浆流压力降的计算

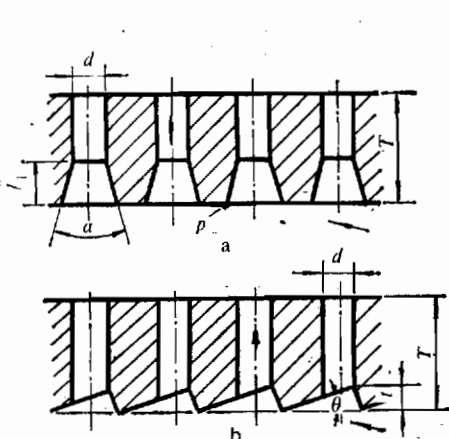


图1-15-8 孔板

a—孔有锥形入口 b—上游侧有齿形斜面

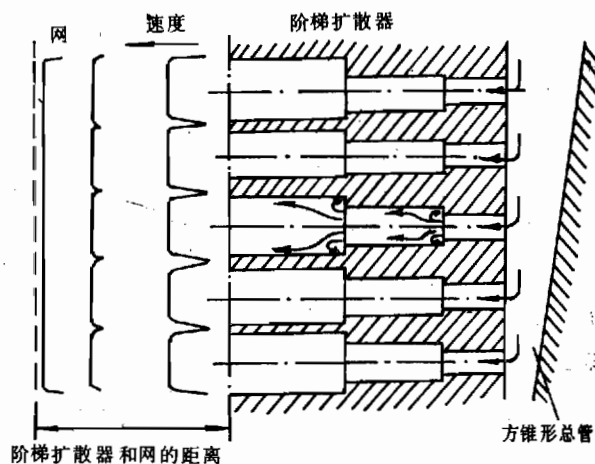


图1-15-9 阶梯扩散器

【说明】 阶梯扩散器是一种分级扩大装置, 见图1-15-9。在每一级之后通过发生可控的涡流产生高强度的微湍动, 并从速度头中恢复静压头。阶梯扩散器具有如下作用: 把从流浆箱侧面输进的纸料转变到纸机的纵向; 沿着造纸机的宽度均匀分布纸料; 产生高强度微湍动, 分散纤维, 以打破纤维的絮聚。阶梯扩散器是一种比较理想的进浆分布装置。其压力降的计算需分步进行。

严格来讲,阶梯扩散器上下游的浆流压力降应由实验测取,在考虑纸浆的必要输浆压头时也可以按下列方法作粗略的估算。

(一)第一段孔进口处的压头损失

【公式】

$$\Delta P_1 = \frac{0.5V_1^2}{2g} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-28)$$

$$\text{或} \quad \Delta P_1 = \frac{0.5V_1^2}{2} \quad (\text{kPa}) \quad (1-15-29)$$

式中 V_1 —— 第一段孔中的浆料速度(m/s)

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

【注意】 若孔的进口处有倒角,则压头损失可取上式所得值的一半。

(二)孔段中的压头损失

【公式】

$$\Delta P_2 = \frac{2fLV_i^2}{dg} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-30)$$

$$\text{或} \quad \Delta P_2 = \frac{2fLV_i^2}{d} \quad (\text{kPa}) \quad (1-15-31)$$

式中 ΔP_2 —— 孔段中的压头损失(mH₂O 或 kPa)

f —— 摩擦系数,可取0.012

L —— 该段孔的长度(m)

d —— 该段孔的直径(m)

V_i —— 该段孔中的流速(m/s)

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

(三)孔段出口处的压头损失

【公式】

$$\Delta P_3 = \frac{V_{i-1}^2 - V_i^2}{2g} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-32)$$

$$\text{或} \quad \Delta P_3 = \frac{V_{i-1}^2 - V_i^2}{2} \quad (\text{kPa}) \quad (1-15-33)$$

式中 V_{i-1} —— 前一段孔中的流速(m/s)

V_i —— 后一段孔中的流速(m/s)

ΔP_3 —— 孔段出口处的压头损失(mH₂O 或 kPa)

(四)总的压头损失

【公式】

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Sigma \Delta P_2 + \Sigma \Delta P_3 \quad (1-15-34)$$

式中 $\Sigma \Delta P_2$ —— 各段孔中的压头损失之和(mH₂O 或 kPa)

$\Sigma \Delta P_3$ —— 各段出口处的压头损失之和(mH₂O 或 kPa)

ΔP —— 总压头损失(mH₂O 或 kPa)

其它同上

五、堰池的工艺计算

(一)进浆量的计算

【公式】

$$Q = (1 + b)Q_1 \quad (1-15-35)$$

式中 Q ——进堰池浆量(m^3/s)

b ——溢流浆率(%),一般取5~10%

Q_1 ——上网浆量(m^3/s)

(二)溢流浆量的计算

【公式】

$$Q_2 = bQ_1 \quad (1-15-36)$$

式中 Q_2 ——溢流浆量(m^3/s)

其它同前

(三)堰池内纸料高度的计算

【公式】

$$H = \frac{(K_c \cdot K_T V)^2}{2g\mu^2} \quad (1-15-37)$$

式中 H ——堰池内纸料高度(m)

V ——造纸机车速(m/s)

K_c ——网速对车速的滞后系数,见表1-15-2和表1-15-3

K_T ——浆速对网速的滞后系数,见表1-15-4和表1-15-5

g ——重力加速度(9.81m/s^2)

μ ——出唇系数,见表1-15-6

表1-15-2

网速对车速的滞后系数 K_c 值范围

纸种	普通印刷纸、书写纸	粘状浆抄薄页纸	长纤维游离浆纸
	新闻纸、凸版纸、书写纸、胶版纸等	电容器纸、描图纸、卷烟纸等	纸袋纸等
K_c 值	0.95	0.87~0.88	0.95~0.96

表1-15-3

常见纸张的 K_c 值

纸张品种	造纸机特点	K_c 值
凸版印刷纸	带复合压榨,车速260~290m/min	0.97~0.975
凸版印刷纸	带真空引纸,车速400m/min	0.97~0.975
凸版印刷纸	开式引纸的中、低速造纸机	0.95
新闻纸	带真空引纸,车速520~530m/min	0.97
新闻纸	开式引纸,车速450~470m/min	0.92~0.93
新闻纸	开式引纸的中速造纸机	0.95~0.96
胶版印刷纸	开式引纸的中低速造纸机	0.95
薄书写纸	开式引纸的低速造纸机	0.93
纸袋纸	带真空引纸,车速	
纸袋纸	开式引纸的低速造纸机	0.96~0.965
卷烟纸	开式引纸的低速薄页纸机	0.875~0.905
描图纸	开式引纸的低速描图纸机,车速20~25m/min	0.85~0.875
电容器纸	开式引纸低速电容器造纸机	0.87
仿羊皮纸	开式引纸低速造纸机	0.92

续表

纸张品种	造纸机特点	Kc 值
电话纸	开式引纸低速造纸机	0.93
纸粕辊原纸	开式引纸低速造纸机	0.96~0.965
半透明玻璃纸原纸	开式引纸低速造纸机	0.92
考贝纸	开式引纸低速造纸机	0.87~0.88

表1-15-4

浆速对网速的滞后系数 K_T 范围

纸种	文 化 用 纸		粘状浆纸
	新闻纸	书写纸、凸版纸	羊皮原纸、卷烟纸、电缆纸
K_T 值	0.79~0.87	0.90~0.95	≥ 1

表1-15-5

常见纸张的 K_T 值

纸张品种	造纸机特点	K_T 值
凸版印刷纸	带真空引纸(车速400m/min)	0.95
	开式引纸(车速250m/min)	0.97
	开式引纸(车速150~200m/min)	0.97
新闻纸	带真空引纸复合压榨(车速900m/min)	0.965
	开式引纸(车速450m/min)	0.9~0.93
	开式引纸(车速315m/min)	0.9~0.93
	开式引纸(车速215m/min)	0.86~0.87
纸袋纸	带真空引纸(车速320m/min)	0.98
胶版印刷纸	开式引纸(车速100~150m/min)	一般0.9~0.95; 1.07~1.08
描图纸	开式引纸(车速23m/min)	1.07
绘图纸	开式引纸(车速41m/min)	1.05~1.15
电话纸	开式引纸(车速93m/min)	1.18~1.20

表1-15-6

出唇系数 μ 值

堰板种类	μ 值
直闸板式堰板	0.6~0.7
斜板式堰板	0.75~0.8
喷浆(鸭嘴)式堰板	0.9~0.95
结合(鹰嘴)式堰板	0.78~0.83
垂直式堰板	0.8

(四)溢流浆位高度的计算

【公式】

$$H_1 = \frac{Q_2}{V_1 B_s} \quad (1-15-38)$$

式中 H_1 ——溢流浆位高度(m) Q_2 ——溢流浆量(m^3/s) V_1 ——堰池流速(m/s) B_s ——喷唇宽度(m)

【例】 已知某敞开式流浆箱溢流浆量 $Q_2 = 0.0033 \text{ m}^3/\text{s}$, 喷嘴宽度 $B_s = 1935 \text{ mm}$, 进堰池浆量 $Q = 0.068 \text{ m}^3/\text{s}$, 上网浆位高度 $H = 1.082 \text{ m}$ 。求溢流浆位高度。

解: 因 $H_1 = \frac{Q_2}{V_1 B_s}$

$$V_1 = \frac{Q}{F_n} \quad (\text{见式 1-15-40})$$

$$F_n = B_s(H + H_1) \quad (\text{见式 1-15-41})$$

$$\text{得 } V_1 = \frac{Q}{B_s(H + H_1)}$$

$$\begin{aligned} \text{故 } H_1 &= \frac{\frac{Q_2}{\frac{Q}{B_s(H + H_1)} \cdot B_s}}{\frac{Q}{Q_2} - 1} = \frac{H}{\frac{Q}{Q_2} - 1} \\ &= \frac{1.082}{\frac{0.068}{0.0033} - 1} \\ &= 0.0552(\text{m}) \end{aligned} \quad (1-15-39)$$

(五) 堰池纸料流速的计算

【公式】

$$V_1 = \frac{Q}{F_n} \quad (1-15-40)$$

式中 V_1 —— 堰池纸料流速 (m/s)

Q —— 进堰池浆量 (进流浆箱量) (m^3/s)

F_n —— 堰池内浆料断面面积 (m^2)

对于敞开式流浆箱:

$$F_n = B_s(H_2 + H_1) \quad (1-15-41)$$

对于气垫式(真空)流浆箱:

$$F_n = B_s(H_2 + H_1) \quad (1-15-42)$$

H —— 上网浆位高度 (m)

H_1 —— 溢流浆位高度 (m)

H_2 —— 流浆箱堰池实际浆位高度 (m)

【例】 求上例中的纸料流速。

$$\begin{aligned} \text{解: } V_1 &= \frac{Q}{F_n} = \frac{Q}{B_s(H + H_1)} = \frac{0.068}{1.935(1.082 + 0.0552)} \\ &= 0.03091(\text{m/s}) \end{aligned}$$

六、堰板的工艺计算

(一) 堰板闸口开度的计算

【说明】 堰口开度的大小, 决定着上浆量的多少, 因此, 堰口开度的确定, 主要取决于纸页的定量, 当然, 同样的定量, 由于上网浓度不同, 或抄速不同, 纸料液的流量也应不同, 堰口开度自然也不同。堰口开度的计算方法有多种, 下面区别不同情况归纳如下。

1. 根据纸的产量计算

【公式】

$$a = \frac{B_m V_q C_1 \times 10^{-4}}{C(100 - m) B_s V_m} \quad (1-15-43)$$

$$\text{或} \quad a = \frac{B_m V q C_1 K}{6 \times 10^7 C B_s \mu_A \sqrt{2gH}} \quad (1-15-44)$$

式中 a ——堰缝开度(m)

B_m ——纸的抄宽(m),指卷纸机纸宽

V ——纸机抄速(m/min)

q ——纸的定量(g/m²)

C_1 ——卷纸机上纸的干度(%)

C ——上网浆浓(%),参考表1-15-10

m ——造纸机各部纤维流失(%) (包括白水中纤维和不可回收的流失)

$$m = \frac{100(a - b)}{a} \quad (1-15-45)$$

a ——上网纸料中绝干固体物含量(kg/h)

b ——纸张的绝干产量(kg/h)

B_s ——堰板开口全宽(m)

V_m ——纸料流速(m/min)

K ——浆料总漏失系数,一般为1.1~1.66,见表1-15-9

$$K = 1 + \frac{C}{C_2} \quad (1-15-46)$$

C_2 ——网下白水浓度(%)

μ_A ——闸口收缩系数,其大小主要取决于喷嘴的形状和结构特征,其次与纸料浓度、打浆度及静压头有关。对于旧式垂直式堰板为0.6~0.7;对于鸭嘴式堰板为0.9~0.98;对于设计良好的喷嘴式闸口, μ 接近于1;对于带倾射上唇板的敛唇式闸口, μ_A 约为0.85~0.95

H ——浆料的压头(mH₂O)

2. 根据工艺条件的变化计算

(1) 当定量及成纸干度变化时

【公式】

$$a = \frac{q B_m V_1 C_1}{C \gamma \mu_Q B_s (100 - m_1) \sqrt{2gH} \times 10^4} \quad (1-15-47)$$

式中 a ——闸口开度(m)

V_1 ——造纸机最大工作车速(m/s)

C_1 ——成纸干度(%)

C ——上网纸料浓度(%),见表1-15-10

γ ——纸料容重(t/m³),可取 $\gamma = 1$

μ_2 ——流量系数,其值见式1-15-58

$$\mu_Q = \mu_A \mu_V \approx \mu \quad (1-15-48)$$

μ_V ——闸口的流速系数,对于大多数闸口元件而言, $\mu_V = 1$ 。由于闸辊或在喷出浆流与成形网的夹角很小时的边界阻力等所致的摩擦,可能使 μ_V 减小到0.98左右

m_1 ——造纸机上的纸料固相离出率(%),通常在40%左右

$$m_1 = \frac{G_1}{G_0} \times 100\% \quad (1-15-49)$$

G_1 ——纸机上因过滤、流失、冲边等而离出的固相率(kg/h)

G_0 ——喷浆流量中含有的固相量(kg/h)

q, B_m, C_1, B_s, H, μ 含义同上

(2) 当定量及成纸干度不变时

【公式】

$$a = \frac{B_m V_1 A}{C \gamma \mu_0 B_s (100 - m_1) \sqrt{2gH \times 10^4}} \quad (1-15-50)$$

式中 A ——常数

$$A = qC_1$$

其它符号含义及单位同上

3. 根据上网浆量计算

【公式】

$$a = \frac{Q \times 60}{V_T B_s} \quad (1-15-51)$$

式中 a ——喷唇开度(m)

Q ——上网浆量(m^3/s)

V_T ——喷唇浆速(m/min)

B_s ——喷唇宽度(m)

$$B_s = \frac{B + 2e}{1 - \epsilon} + 2s \quad (1-15-52)$$

B ——成纸净宽(m)

e ——切边宽度(m), $e = 0.015 \sim 0.04m$

S ——伏辊前水针割边宽度(m), S 可取 $0.040 \sim 0.1m$, 一般取 $0.05m$

ϵ ——纸页横向收缩率(%), 一般文化用纸为 $3 \sim 5\%$, 见表1-15-8

【例】某纸机上浆量 $Q = 0.065 m^3/s$, $V_T = 165.87 m/min$, $B_s = 1935 mm$, 求唇口开度。

$$\text{解: } a = \frac{Q \times 60}{V_T B_s} = \frac{0.065 \times 60}{165.87 \times 1.935} = 0.01215(m)$$

4. 根据纤维流失率计算

【公式】

$$a = \frac{B_m q C_1 (1 + K)}{C \gamma B_s K_T K_c \times 10^6} \quad (1-15-53)$$

式中 K ——纤维流失率(%), 测定方法及计算见[附注]

K_c ——网速对车速的滞后系数, 见表1-15-2

K_T ——浆速对网速的滞后系数, 见表1-15-3

B_m ——纸的抄宽(m)

B_s ——堰口宽度(m)

C_1, C, γ, q ——同1-15-47

【例】某厂用1760纸机生产 $60g/m^2$ 胶版纸, 成纸干度为 93% , 上网浆浓为 0.6% , 浆的容重为 $1t/m^3$, $K_T = 0.93$, $K_c = 0.95$, 切边宽度 e 为 $20mm$, 伏辊前水针割边宽度为

50mm, 纸页横向收缩率为4%, 纤维损失率为45%, 求堰口开度。

$$\text{解: } B_s = \frac{B + 2e}{1 - \epsilon} + 2S = \frac{1.76 + 2 \times 0.02}{1 - 4\%} + 2 \times 0.05 \\ = 1.975(\text{m})$$

$$B_m = B + 2e = 1.76 + 2 \times 0.02 = 1.80(\text{m})$$

$$a = \frac{B_m q C_1 (1 + K)}{C \gamma B_s K_T K_c} = \frac{1.80 \times 60 \times 93\% (1 + 45\%)}{0.6\% \times 1 \times 1.975 \times 0.93 \times 0.95 \times 10^6} \\ = 0.0139(\text{m})$$

$$= 13.9(\text{mm})$$

【附注】纤维流失率 K 的测定与计算

K 的测定方法是用矩形收缩堰法测得地沟中白水流量 $Q_3 (\text{m}^3/\text{h})$ 与白水中纤维浓度 $C_2 (\text{g/L})$ 计算而来, 测量器具见图1-15-10。

纤维流失率用下式计算:

$$K = \frac{Q_3 C_2}{3.6 Q_1} \quad (1-15-54)$$

$$Q_3 = 1.838(b - 0.2h)h^{3/2} \times 3600$$

$$Q_1 = \frac{q B_m V_m C_1}{60}$$

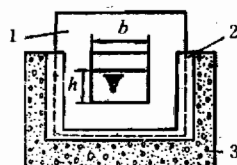


图1-15-10 纤维流失率的测定装置

式中 K ——纤维流失率(%)

Q_3 ——测得的白水流量(m^3/h)

C_2 ——白水浓度(%)

Q_1 ——矩形堰口白水流量(m^3/h), 式1-15-53又称 Francis 公式

b, h ——矩形堰开口尺寸, 见图1-15-10

Q_1 ——纸机理论产量所需纤维量(g/s)

q ——纸的定量(g/m^2)

B_m ——抄宽(m)

V_m ——车速(m/s)

C_1 ——成纸干度(%)

5. 不同条件下的堰口实际开度

【说明】参见表1-15-7。

表1-15-7

流浆箱的堰口开度

纸 种	定 量 (g/m^2)	网 速 (m/min)	上网浓度 (%)	压 头 (mm)	堰口开度 (mm)
薄 纸	27	70	0.35	140	9
薄 纸	27.5	115	0.35	180	7.5
二号笔记本纸	64	185	0.93	400	9
一号印刷纸	65	190	1.22	540	8~11
一号书写纸	65	145	1.05	213	13
新闻纸	52	180	0.6	315	13
新闻纸	52	263	0.67	600	16~18
新闻纸	52	256	0.5~0.65	893	17

(二)堰板喷唇的宽度计算

【公式】

$$B_s = \frac{B + 2e}{1 - \epsilon} + 2S \quad (1-15-55)$$

式中 B_s —— 喷唇宽度(mm)
 B —— 净纸宽度(mm)
 e —— 纸的切边宽度(mm), $e = 15 \sim 25\text{mm}$
 ϵ —— 总横收缩率(%), 见表1-15-8及表1-15-21
 S —— 网部水针割边宽度(mm), 一般取30~50mm

表1-15-8 几种纸的总横收缩率

纸张品种	总横收缩率 ϵ (%)
新闻纸	2~4
凸版印刷纸, 书写纸(长网多缸纸机)	3~5
凸版印刷纸, 书写纸(圆网双缸纸机)	3~4
胶版印刷纸	3.5~4.5
图画纸	3.5~4.5
卷烟纸	5~7
描图纸	10~14
电容器纸	10~14
纸袋纸	2.5~4.5
防油纸	8~10
电话纸	6.5~7.5
仿羊皮纸	10
纸粕鞣原纸	2~2.5
拷贝纸	7.5~8.5
半透明玻璃纸原纸	9~11
低压电缆纸	4~7

【例】 某1760纸机生产52g/m²凸版纸, 已知切边宽度 $e = 20\text{mm}$, 水针割边宽度 $S = 30\text{mm}$, 总横收缩率为 $\epsilon = 4\%$, 求喷唇宽度。

$$\begin{aligned} \text{解: } B_s &= \frac{B + 2e}{1 - \epsilon} + 2S \\ &= \frac{1760 + 2 \times 20}{1 - 4\%} + 2 \times 30 \\ &= 1935(\text{mm}) \end{aligned}$$

(三) 堰板的收缩系数、流速系数以及流量系数之间的关系

1. 收缩系数 μ_A

【说明】 堰板闸口的收缩系数是指在缩脉处的浆料截面积 A_v 与闸口的开口面积 A_s 之比。

【公式】

$$\mu_A = \frac{A_v}{A_s} \quad (1-15-56)$$

式中 μ_A —— 收缩系数, 其值见表1-15-44
 A_v —— 缩脉处浆料截面积(m²)
 A_s —— 闸口的开口面积(m²)

2. 流速系数 μ_v

【说明】流速系数与闸口的平均喷浆流速及闸口上游的浆流压头有关,其值的大小见式1-15-47。

【公式】

$$\mu_v = \frac{V}{\sqrt{2gH}} \quad (1-15-57)$$

式中 μ_v ——流速系数

V ——闸口处平均喷浆流速(m/s)

H ——浆流的压头(mH₂O)

g ——重力加速度(9.81m/s²)

3. 流速系数 μ_Q

【说明】流量系数 μ_Q 等于流速系数 μ_v 与闸口收缩系数 μ_A 之积。因 μ_v 接近于1,故大多数情况下 μ_Q 和 μ_v 在数值上相等。流量系数用于计算闸口的流量。

【公式】

$$\mu_Q = \mu_v \mu_A \quad (1-15-58)$$

$$\mu_Q = \frac{Q}{A_v \sqrt{2gH}} \quad (1-15-59)$$

式中 Q ——闸口喷浆流量(m³/s)

其它同上

七、喷浆的工艺计算

(一)喷浆流速的计算

【公式】

$$V = \mu_v \sqrt{2gh} \quad (1-15-60)$$

$$\text{或} \quad V = \mu_v \sqrt{2gh} + V_1$$

式中 V ——唇口的自由喷出速度(m/s)

μ_v ——闸口的流速系数,如果在靠近闸口的上游部位测取 H ,在喷出的浆流的缩脉处测取 V ,则 $\mu_v = 1$ 。由于闸辊或在喷出浆流与成形网的夹角很小时的边界阻力等所致的摩擦,可使 μ_v 减少到 0.95 ~ 0.98 左右。

H ——闸口上游的浆流的压头(mH₂O),计算见下

h ——堰板后浆料的压头(mH₂O)

V_1 ——供浆速度(m/s)

【例】直闸板式上浆装置中,闸板的高度不超过150~200mm,求其最大喷浆流速。

解: $V = \mu_v \sqrt{2gH}$

$$= 1 \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.15}$$

$$= 17.7(\text{m/s})$$

【讨论】喷浆速度的计算还可借助于网速以及浆网速比来进行。

$$V = K_T V_w \quad (1-15-61)$$

式中 V —— 喷浆速度(m/s)

V_w —— 网速(m/s)

K_T —— 浆速对网速的滞后系数,见表1-15-4和表1-15-5

(二)喷浆量的计算

1. 根据纸机的理论产量计算

【公式】

$$Q = \frac{GK}{Cr} = \frac{qB_m V_m C_1 K}{10^6 C} \quad (1-15-62)$$

式中 Q —— 堰板闸口喷浆量(m^3/min)

G —— 纸机单位时间的理论产量(kg/min)

K —— 浆料总漏失系数,一般为1.1~1.66,见表1-15-9;计算见式1-15-46

C —— 上网浆浓(%),参考表1-15-10

γ —— 浆料重度(kg/m^3),取 $\gamma=1000$

q —— 纸的定量(g/m^2)

B_m —— 抄宽(m)

V_m —— 车速(m/min)

C_1 —— 成纸干度(%)

【例】 某1760纸机生产52g/ m^2 凸版纸,车速180m/min,成纸干度为93%,上浆浓度为0.6%,漏浆系数为1.5,求上网浆量。

表1-15-9

部分纸的总漏浆系数 K

品种名称	K 值	品种名称	K 值
新闻纸	中、低速 $K=1.5\sim1.8$; 中高速 $K=1.5\sim1.6$	卷烟纸	$K=1.5\sim2.0$
凸版印侧纸	$K=1.5\sim1.6$	纸袋纸	$K=1.25$
胶版印刷纸	$K=1.5$	电容器纸	$K=1.15\sim1.25$
字典纸	$K=1.5$		

$$\begin{aligned} \text{解: } Q &= \frac{qB_m V_m C_1 K}{10^6 C} = \frac{52 \times \left(\frac{1760+40}{1000} \right) \times 180 \times 93\% \times 1.5}{10^6 \times 0.6\%} \\ &= 3.92 (m^3/min) \\ &= 0.065 (m^3/s) \end{aligned}$$

2. 根据堰板闸口的尺寸计算

【公式】

$$Q = \alpha B_s V \quad (1-15-63)$$

式中 Q —— 流量(m^3/s)

α —— 堰板闸口开度(m)

B_s —— 堰板闸口宽度(m)

V —— 喷浆速度(m/s)

3. 根据浆流的压头计算

(1) 敞开式流浆箱

【公式】

$$\begin{aligned} Q &= \mu_Q A_S \sqrt{2gH} \\ &= \mu_Q \alpha B_S \sqrt{2gH} \\ &= \mu_A \mu_V \alpha B_S \sqrt{2gH} \end{aligned} \quad (1-15-64)$$

式中 Q —— 闸口喷浆量(m^3/s)

μ_Q —— 流量系数, 见式1-15-58

A_S —— 闸口面积(m^2)

H —— 浆流的压头(mH_2O)

α, B_S —— 同式1-15-63

μ_V, μ_A —— 见式1-15-47和式1-15-44、1-15-56

(2) 气垫式流浆箱

【公式】

$$Q = \mu_Q A_S \sqrt{2g(H_1 \pm \frac{P_0}{\gamma})} \quad (1-15-65)$$

式中 H_1 —— 气垫式流浆箱中的浆位高度(mH_2O)

P_0 —— 气垫室中的压力(Pa)

γ —— 浆的重度(N/m^3), $\gamma = 9810$

其它同上

表1-15-10

部分纸张上网浓度和网案各部分干度

纸 张 品 种	定 量 (g/m^2)	上网浓度和网案各部分的干度(%)			
		上网浓度	案 辊 后	真空吸水箱后	伏辊后
新闻纸	52	0.6~0.7	2~2.5	11~13	18~20
新闻纸	51	0.6	2.0	10	18~20
新闻纸	51	0.56	2.8	13	18.5
新闻纸	51	0.6	2.2	12	20
凸版印刷纸	52	0.5~0.7	1.8		20~21
一号书写纸, 印刷纸	70~80	0.7~1.2	2.5~4.0	10~14	18~20
二号书写纸, 印刷纸	60~65	0.7~1.0	2~3	11~14	16~20
打字纸	30	0.74		11	15~18
电容器纸	8~15	0.2~0.3	0.8~1.2	4~5	8~10
仿羊皮纸	40~45	0.5~0.7	1.5~2.0	8~10	14~16
卷烟纸	22	0.55~0.9	3	13	18
纸袋纸	80	0.53	2.5	10	18
纸袋纸	45~75	0.4~0.6	2~2.5	10~12	15~17

(三) 喷浆的压头计算

1. 开启式流浆箱的压头计算

【说明】 开启式流浆箱系统的压头是指以闸口的开缝高度中心为基准算起的箱内浆位高度。

【公式】

$$H = \frac{K_T^2(1 - \xi_w)^2}{\mu_v^2} \cdot \frac{V_M^2}{2g} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-66)$$

$$\text{或} \quad H = \frac{K_T^2(1 - \xi_w)^2}{\mu_v^2} \cdot \frac{V_M^2}{2} \quad (\text{kPa}) \quad (1-15-67)$$

式中 H —— 浆流的压头 (mH₂O 或 kPa)

K_T —— 浆网速比, 见表1-15-4和表1-15-5

ξ_w —— 网部速差率 (%)

$$\xi_w = \frac{V_M - V_w}{V_M} \times 100\% \quad (1-15-68)$$

V_M —— 造纸机最大工作车速 (m/s)

V_w —— 成形网速度 (m/s)

μ_v —— 流速系数, 见式1-15-47

g —— 重力加速度 (9.81m/s²)

【注意】 按 $\mu_v = 1$ 计算出的压头称为理论压头。

2. 气垫式流浆箱

(1) 当气垫压力为正值时

【公式】

$$H = H_1 + \frac{P}{\gamma} \quad (1-15-69)$$

式中 H —— 上网浆流总压头 (mH₂O)

H_1 —— 流浆箱内浆位高度 (mH₂O), 同开启式基准算起

$$H_1 = \frac{Q_1}{V_1 B_1} \quad (1-15-70)$$

Q_1 —— 流道中的最大浆流流量 (m³/s)

V_1 —— 该流道中的计算流速 (m/s)

B_1 —— 该流道的内净宽度 (m)

P —— 气垫室中的压力 (Pa), 见式1-15-72

γ —— 纸料的重度 (N/m³), 取 $\gamma = 9810$

(2) 当气垫为真空时

【公式】

$$H = H_1 - \frac{P_1}{\gamma} \quad (1-15-71)$$

式中 P_1 —— 气垫真空度 (Pa)

其它同上

(3) 气垫压力的计算

【说明】 供给发生气垫压力的压缩空气不允许含油, 整个压力控制系统必须精密可靠, 压力波动不允许超过196Pa, 以防纸幅宽度变化及纸横向定量波动。

【公式】

$$P = \frac{V^2}{2g\mu_v^2} - H_1 \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-72)$$

$$\text{或 } P = \frac{V^2}{2\mu\gamma} - H_1 g \quad (\text{kPa}) \quad (1-15-73)$$

式中 V ——纸料上网速度(m/s)

其它同上

(四)纸料喷射角的计算

【说明】 参见图1-15-11,根据上唇板与下唇板的距离 L 与唇板开口高度 b 的比值,便可从图1-15-12上查得喷射角 β 。对于车速364m/min的造纸机, L/b 的值以1.0左右较适宜,而对于850m/min的纸机, L/b 则以1.2~1.3左右为宜。必须注意,应避免选用 L/b 值较小的“灵敏区”,因为此时的 L/b 值稍有改变,即会引起喷射角的剧变而严重地影响到网上脱水和成纸质量。

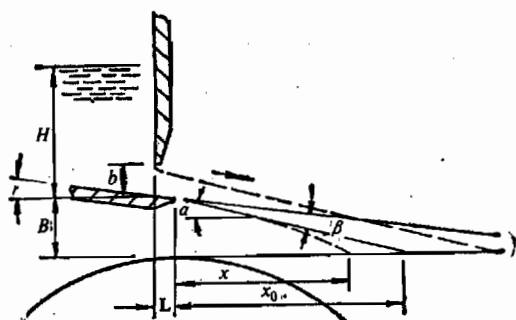


图1-15-11 着网点计算图

(五)着网点的计算

1.理论着网点的计算

【说明】 参见图1-15-11,着网点至下唇板边缘的水平距离(理论着网点),可按下式计算。

【公式】

$$X = \frac{V \cos \alpha}{g} \sqrt{V^2 \sin^2 \alpha + 2gB} - V \sin \alpha \quad (1-15-74)$$

式中 X ——着网点至下唇板边缘的水平距离(m)

B ——下唇板边缘至网面高度(m)

V ——唇口的自由喷出速度(m/s),见式1-15-60

α ——喷射线与水平线的夹角(度)

$$\alpha = \beta + \gamma$$

β ——喷射角,即喷射线与下唇板顶面的夹角(度)

γ ——下唇板顶面与水平线的夹角(度)

g ——重力加速度(9.81m/s²)

2.实际着网点的计算

【公式】

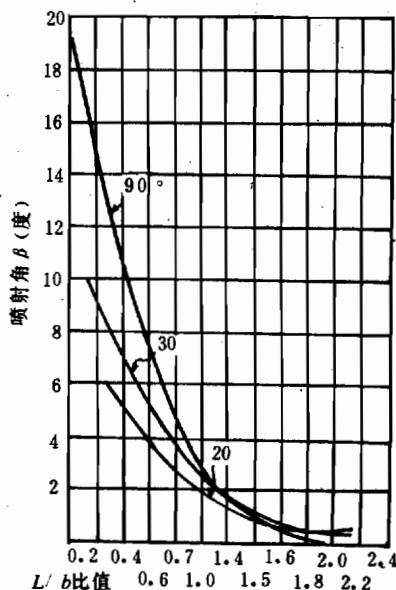


图1-15-12 不同喷嘴的 β 角

$$S = KX$$

(1-15-75)

式中 S ——实际着网点(m)

K ——系数, 0.95~0.8

X ——理论着网点(m), 同式1-15-74

(六) 浆网速比的计算

【说明】 浆网速比又称浆速对网速的滞后系数。

【公式】

$$K_T = \frac{V}{V_w} \quad (1-15-76)$$

式中 K_T ——浆网速比, 其值见表1-15-4和表1-15-5

V ——喷浆流速(m/s), 见式1-15-60

V_w ——成形网速度(m/s), 见网部工艺计算

八、流浆箱的设计计算

【说明】 在流浆箱的设计中, 通常是按纸浆流向的顺序来选定各部的元件, 再顺序地进行这些元件的主要尺寸参数设计, 在掌握了比较成熟的、可用的元件性能参数后进行的设计计算中, 通常是以流浆箱的流量为基础数据再按各个部位的流速来确定各处相应的尺寸参数的。

(一) 流量的确定计算

【说明】 流量的确定计算往往采用单位闸口幅宽上的流量作为基础数据, 一般需确定最大运行流量、计算喷浆流量和最小运行流量。

【公式】

$$Q_a = \frac{Q}{B_z} \quad (1-15-77)$$

$$Q_{amax} = \frac{Q_{amax}}{B_z} \quad (1-15-78)$$

$$Q_{amin} = \frac{Q_{min}}{B_z} \quad (1-15-79)$$

式中 Q, Q_{max}, Q_{min} ——分别为计算喷浆流量、最大和最小运行流量(m^3/s)

B_z ——闸口幅宽(m)

Q_a ——单位计算喷浆流量[$m^3/(s \cdot m)$]

Q_{max}, Q_{min} ——最大及最小单位运行流量[$m^3/(s \cdot m)$]

(二) 计算流速的确定

【说明】 流浆箱内各部位流道和各元件中的计算流速可按有关资料参考选定, 对于以木浆为原料生产一般文化用纸、新闻纸等的中、高速纸机, 箱体内的浆池中以及流道中的计算流速可采用以下数据:

浆池中: 0.15~0.45m/s

孔板后或阶梯扩散后: 0.45~0.6m/s

布浆器进口前:1.5~3m/s

(三)设计计算步骤与方法

【说明】下面以气垫式孔板——孔辊流浆箱为例,对设计计算步骤与方法作一说明。

1. 锥管布浆器的计算

(1)进口端的流量 Q_0

【公式】

$$Q_0 = \frac{Q(1 + \omega_1)}{1 - \omega} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1-15-80)$$

式中 Q —— 计算喷浆流量(m^3/s)

ω_1 —— 流浆箱内(前墙或后墙)溢流率(%)

$$\omega_1 = \frac{Q_{R1}}{Q} \quad (1-15-81)$$

Q_{R1} —— 由流浆箱(前墙或后墙)溢出的浆料(m^3/s)

ω —— 锥管细端回流率(%)

$$\omega = \frac{Q_R}{Q_0} \quad (1-15-82)$$

Q_R —— 锥管细端回流浆量(m^3/s)

Q_0 —— 锥管进浆量(m^3/s)

(2)进口端截面积 A_0

【公式】

$$A_0 = \frac{Q_0}{V} (\text{m}^2) \quad (1-15-83)$$

式中 V —— 进口截面上的计算流速,或按拜纳斯方程式计算时的流速(m/s),可取2.5~3m/s。

(3)等宽矩形锥管布浆器的截面高度 B

【说明】对于等宽矩形布浆器,其截面宽度 B 的计算要按与其相配的孔板来决定,而孔板的宽度(垂直于纸机幅宽方向上的尺寸)就是其下游流道的“高度”。于是,这一高度也就是锥管布浆器的截面宽度 B 。

【公式】

$$B = \frac{Q(1 + \omega_1)}{B_z V_3} \quad (\text{m}) \quad (1-15-84)$$

$$\text{或} \quad B = \frac{Q_0(1 + \omega_1)}{V_3} \quad (1-15-85)$$

式中 V_3 —— 孔板下游流道的计算流速(m/s)

其它同上

【讨论】从式1-15-85可以看出在计算流道尺寸时应用单位计算喷浆流量所带来的方便,亦即可不必屡屡地在计算中引入闸口幅宽 B_z

(4)锥管布浆器的尺寸计算

【说明】锥管布浆器的尺寸计算在确定了流速 V 、截面宽度 B 、进口端截面积 A_0 以及细端回流率之后可按本节“一、(五)”的方法进行。

2. 孔板的计算

(1)孔板开孔的总面积 $\Sigma A_{\text{孔}}$

【公式】

$$\Sigma A_{\text{孔}} = \frac{Q(1 - \omega_1)}{V_2} \quad (1-15-86)$$

$$\text{或} \quad \Sigma A_{\text{孔}} = B_z \left[\frac{Q_a(1 + \omega_1)}{V_2} \right] \quad (1-15-87)$$

式中 V_2 —— 孔板孔中的计算流速(m/s)

其它符号含义及单位同前

(2)孔板开孔率 $\lambda_{\text{板}}$

【公式】

$$\lambda_{\text{板}} = \frac{\frac{Q_a(1 + \omega_1)}{V_2}}{\frac{Q_a(1 + \omega_1)}{V_3}} = \frac{V_3}{V_2} \quad (1-15-88)$$

式中符号含义及单位均同上。

(3)孔板上孔数的计算

【说明】 参考式1-15-25。

【公式】

$$n_{\text{板}} = \frac{4\Sigma A_{\text{孔}}}{\pi d_{\text{板}}^2} \quad (1-15-89)$$

式中 $d_{\text{板}}$ —— 孔板孔径(m)

其它同上

(4)孔板上的排孔尺寸的确定

【说明】 孔板上的排孔尺寸的确定应按孔板上排孔的方式需满足的三个条件来计算并圆整。即①用等边单元三角形的棋盘形排孔形式；②沿孔板宽度(即流道高度)的方向上,孔的排数成为奇数；③最靠边的上下两排的两端共4个孔与流道壁的距离均等于或接近半个孔距。当然,经过圆整后的棋盘形排孔可能不是等边单元三角形而是等腰单元三角形的。设沿纸机横幅方向(孔板长度方向)上的孔距为 t_x ,而沿孔板宽度方向上的孔距为 t_y ,则 t_x 与 t_y 的关系可作如下计算:

a. 按等边单元三角形的棋盘形排孔形式

【公式】

$$\frac{2t_y}{t_x} = \text{tg}60^\circ = 1.732$$

$$\text{或 } t_y = 0.866t_x \quad (1-15-90)$$

b. 按条件②、③则有如下关系

【公式】

$$B/t_y = m \quad (m \text{ 为奇数}) \quad (1-15-91)$$

式中符号含义及单位同前

【讨论】显然,在边长分别为 t_x 及 t_y 的小矩形面积内将正好包含有一个孔,故得:

$$t_y = \sqrt{0.866 \frac{B_z B}{n_{\text{板}}}} \quad (1-15-92)$$

式中 B_z —— 闸口幅宽(m)

B —— 截面高度(m), 见式1-15-84

其它同上

3. 孔辊的计算

【说明】孔辊的有关参数可按本节第“二”所述方法进行计算,但孔辊的直径通常都是按流道高度或浆池中的浆位高度来决定的。

(1) 喉辊直径的确定

【说明】对于位于孔板下游流道中的喉辊,已算出了流道高度 B ,一般地可初步取喉辊直径比 B 小10mm左右。但往往为了在设计上取喉辊与闸辊有相同的直径而要放大喉管直径,此时可把喉辊附近的流道高度相应地放大到比喉管直径大6~10mm。这样,孔板下游流道就会成为略有扩展的流道。

(2) 闸辊的直径

【说明】闸辊的直径按流浆箱体内浆池中的浆位高度计算,可按比浆位高度小10mm左右并圆整成适当的整数来考虑。流浆箱体内浆池中浆位的高度可按下式计算。

a. 在前墙溢流时(气垫式流浆箱)

【公式】

$$H_1 = \frac{Q_0(1 + \omega_1)}{B_z V_4} = \frac{Q_0(1 + \omega_1)}{V_4} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-93)$$

式中 V_4 —— 浆池中的计算流速(m/s)

其它同上

b. 在后墙溢流时

【公式】

$$H_2 = \frac{Q_0}{B_z V_4} = \frac{Q_0}{V_4} (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-94)$$

式中符号含义及单位均同前

【讨论】按上式算出 H 值后,不仅可以确定闸辊的直径,还可由要求的理论压头(式1-15-69)得出要求的气垫压力。

4. 流道的长度 S

(1) 喉辊中心距孔板面的距离 S_1

【公式】

$$S_1 = 20d_{\text{板}} + \frac{D_1}{2} \quad (\text{m}) \quad (1-15-95)$$

式中 D_1 —— 喉管直径(m)

$d_{\text{板}}$ —— 孔板的孔径(m)

(2) 喉辊与闸辊中心间的距离 S_2

【说明】 S_2 决定了流浆箱内浆池的长度。一般情况下, S_2 可按下式计算。

【公式】

$$S_2 = Kd_1 = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (\text{mH}_2\text{O}) \quad (1-15-96)$$

式中 K ——系数, $K=16\sim 20$

D_1, d_1 ——喉辊的直径及孔径(m)

D_2 ——闸辊直径(m)

【讨论】当喉辊与闸辊间设有中间孔辊时,则浆池长度分为两段,这两段均可用上式计算,此时 D_1 及 D_2 将分别相应于上、下游的孔辊, d_1 为上游孔辊的孔径, K 在计算前一段时可用 $10\sim 12$, 后一段时可用 $12\sim 16$ 。

5. 敛唇式上浆装置的流道 L

【说明】敛唇式上浆装置的流道长度指沿收敛角中线并自闸辊辊面算起的流道长度。

【公式】

$$L = \frac{1}{2}(h_1 - h) \frac{1}{\tan \frac{\alpha}{2}} \quad (\text{m}) \quad (1-15-97)$$

式中 h_1 ——流道的上游端(粗端)高度(m), $h_1=0.6\sim 0.8D$

D ——闸辊直径(m)

h ——喷缝开度(m)

α ——敛唇流道的收敛角(度),通常取 $\alpha=30^\circ$

【注意】按上式计算的 L 值应该大于或等于用式1-15-15和式1-15-17算出的值。

(四)方锥管的设计计算实例

【说明】方锥管进浆分布器的设计计算,除上述计算步骤及方法外,还可参考下述方法直接进行设计计算。

【例】某厂新安装的1575卫生纸机网前箱采用了方锥管多管进浆形式,用 $\delta=12\text{mm}$ 硬塑料板拼焊,一侧焊 $\Phi 42\text{mm}$ 塑料管12根作多管进浆。已知条件及参数如下:

纸机车速 $V=60\text{m/min}$ 抄宽 $B=1.70\text{m}$
 纸的定量 $q=22\text{g/m}^2$ 回流比 $R=12\%$
 溢流比 $Y=10\%$ 上网浓度 $C=0.1\%$
 成纸水分 $W=7\%$

试进行设计计算。

解:①方锥管进浆量 $Q_{\text{进}}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{进}} &= \frac{qBV(1-W)10^{-6}}{C(1-R)(1-Y) \times 60} \\ &= \frac{60 \times 1.7 \times 22(1-7\%) \times 10^{-6}}{0.1\%(1-12\%)(1-10\%) \times 60} \\ &= 4.39 \times 10^{-2} (\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

②进口端面尺寸确定

总管流速一般选 $2\sim 3\text{m/s}$, 取 $\mu=2.4\text{m/s}$, 则方锥管端面面积 A_1 :

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{Q_{\text{进}}}{\mu} \\ &= \frac{4.39 \times 10^{-2}}{2.4} \\ &= 1.83 \times 10^{-2} (\text{m}^2) \end{aligned}$$

进口端面长宽比一般为 $H/b = 0.5$, 因利用原有材料, 取 $b = 95\text{mm}$, 则进口端号度 H_1 为:

$$H_1 = \frac{A_1}{b} = \frac{1.83 \times 10^{-2}}{0.095} = 0.193(\text{m})$$

取 $H_1 = 0.19\text{m}$

③回流端面尺寸确定

方锥管进口端水力直径 D_e :

$$\begin{aligned} D_e &= \frac{2H_1b}{H_1+b} \\ &= \frac{2 \times 0.19 \times 0.095}{0.19 + 0.095} \\ &= 0.126(\text{m}) \end{aligned}$$

取方锥管长(可取网槽宽) $L = 2000\text{mm}$, 摩擦系数 $(0.012 \sim 0.015)$, 低浓取上限, 高浓取下限) $f = 0.015$, 则:

$$\frac{fL}{2D_e} = \frac{0.015 \times 2.0}{2 \times 0.126} = 0.119$$

取浆料分配系数 $\lambda = R = 12\%$, 则回流端面面积 A_0 为:

$$\begin{aligned} A_0 &= A_1 \lambda e^{\frac{fL}{2D_e}} = H_0 b (H_0 \text{ 为回流端面长度}) \\ &= 0.0183 \times 0.12 e^{0.119} \\ &= 2.47 \times 10^{-3}(\text{m}^2) \end{aligned}$$

回流端面长度 H_0 为:

$$\begin{aligned} H_0 &= \frac{A_0}{b} = \frac{2.47 \times 10^{-3}}{0.095} \\ &= 0.026(\text{m}) \end{aligned}$$

(五)多孔板流浆箱的设计计算实例

【说明】多孔板流浆箱在我国中、低速纸机上应用比较普遍, 具有纤维沿纸机横向分布比较均匀, 纸页横幅定量差小, 纸张匀度好, 且流浆箱清洗方便, 没有积浆现象, 孔板维护、更换方便等优点。现以某厂2362长网纸机多孔板流浆箱的设计为依据介绍其计算步骤和方法。

1. 设计依据

产品品种: 新闻纸、文化纸

浆料配比(%): 机械木浆80~84

化学木浆16~20

车速(m/min) $V = 200 \sim 240$

纸张定量(g/m²) $q = 51$

成纸宽度(mm) $B_m = 2420$

成纸水分(%) $C_1 = 8$

净纸宽度(mm) $B = 2362$

总横缩率(%) $\epsilon = 3$

上网浓度(%) $C = 0.65$

总管流速(m/s) $V_1 = 2.3$

总管回流量(%) $n_1 = 15$

前墙溢流量(%) $n_2 = 5$

总漏失系数 $K = 1.6$

网速对车速滞后系数 $K_c = 0.95$

浆速对网速滞后系数 $K_T = 0.83$

多孔板孔径(mm) $d = 14$

多孔板厚度(mm) $\delta = 50$

多孔板厚度与孔径之比 $\delta/d = 3.57$

加速比 $R = 1.9$

浆料出唇系数 $\mu = 0.96$

滴边宽度(mm) $S = 50$

切边宽度(mm) $e = 25$

2. 流浆箱的计算

(1) 上浆量 G

a. 按理论产量计算纸机所需绝干浆料量 G

$$\begin{aligned} G &= \frac{qB_m V(1 - C_1)}{60000} & (1-15-101) \\ &= \frac{51 \times 2.42 \times 220(1 - 8\%)}{60000} \\ &= 0.4163(\text{kg/s}) \end{aligned}$$

b. 上网浆量 Q

$$\begin{aligned} Q &= \frac{GK}{1000C_T} & (1-15-102) \\ &= \frac{0.4163 \times 1.6}{1000 \times 0.65\% \times 1} \\ &= 0.1025(\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

c. 方锥总管进浆量 Q_1

$$\begin{aligned} Q_1 &= (1 + n_1 + n_2)Q & (1-15-103) \\ &= (1 + 0.15 + 0.05) \times 0.1025 \\ &= 0.123(\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

d. 方锥总管回流浆量 Q_2

$$Q_2 = n_1 Q = 0.15 \times 0.1025 = 0.0154(\text{m}^3/\text{s})$$

e. 通过多孔板进入堰池的浆量 Q_3

$$\begin{aligned} Q_3 &= Q_1 - Q_2 = 0.123 - 0.0154 \\ &= 0.1076(\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

f. 堰池溢流浆量 Q_4

$$\begin{aligned} Q_4 &= n_2 Q = 0.05 \times 0.1025 \\ &= 0.0051(\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

(2) 堰池的计算

a. 网速 V_c

$$V_c = K_c V = 0.95 \times 220 = 209(\text{m/min})$$

b. 喷口浆速 V_T

$$V_T = K_T V_c = 0.83 \times 209 = 173.47 (\text{m/min})$$

c. 喷口宽度 B_s

$$B_s = \frac{B + 2e}{1 - \epsilon} + 2S = \frac{2362 + 2 \times 25}{1 - 0.03} + 2 \times 50 = 2586.6 (\text{mm})$$

取 2600mm

d. 喷口开度 a

$$a = \frac{Q}{B_s V_T} = \frac{0.1025}{2.6 \times \frac{173.47}{60}} = 0.0136 (\text{m})$$

取 14mm

e. 上网浆位 h

$$h = \frac{V_T^2}{2g\mu^2} = \frac{(\frac{173.47}{60})^2}{2 \times 9.81 \times 0.96^2} = 0.462 (\text{m})$$

f. 堰池高度 h_1

$$h_1 = h + 150 = 462 + 150 = 612 (\text{mm})$$

取 650mm

(3) 多孔板匀浆器计算

a. 多孔板孔数 n 及排列方式

$$n = \frac{4Q_3}{\pi d^2 V_1 R} = \frac{4 \times 0.1076}{3.14 \times (\frac{14}{1000})^2 \times 2.3 \times 1.9} = 160 (\text{个})$$

排列方式见图 1-15-13

b. 孔板规格

见图 1-15-14

(4) 方锥总管设计计算

a. 初始端面高度 H_1

$$H_1 = \frac{Q_1}{V_1 B_1} = \frac{0.123}{2.3 \times 0.15} = 0.356 (\text{m})$$

(B_1 为初始端面宽度, 取 150mm)

b. 回流端面计算

根据 Baines 方程

$$\frac{A}{A_1} = \lambda e^{\frac{fx}{8\mu}} \quad (1-15-104)$$

$$H = H_1 \lambda e^{\frac{fx}{8\mu}} \quad (1-15-105)$$

式中 A_1, H_1 —— 初始端断面面积 (m^2) 及高度 (m)

A, H —— 回流端断面面积 (m^2) 及高度 (m)

λ —— 浆料分布系数

e —— 自然常数, $e = 2.718$

f —— 摩擦系数, 取 0.015

x —— 断面距总管初始距离 (m)

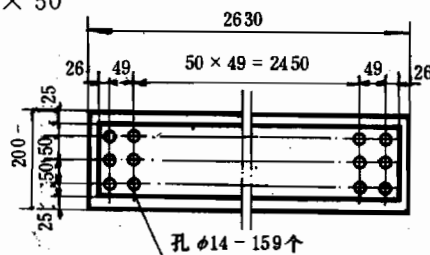


图 1-15-13 排孔方式

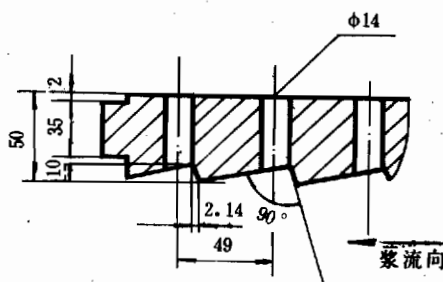


图 1-15-14 孔板规格

R_n ——水力半径(m)

则: $\lambda = 1 - \frac{\pi}{L}(1 - n_1)$

$$= 1 - \frac{2.63}{2.63}(1 - 0.15) = 0.15$$

L ——多孔板匀浆器长度(m)

$$R_H = \frac{H_1 B_1}{2(H_1 + B_1)} = \frac{360 \times 150}{2(360 + 150)} = 52.9(\text{mm})$$

$$\frac{f\lambda}{8R_n} = \frac{0.015 \times 2.63}{8 \times 0.0529} = 0.093$$

$$\lg e_{sk} = \frac{f\lambda}{8R_n} \lg e = 0.093 \times 0.4343 = 0.0404$$

$$e_{sk} = 1.097$$

故得 $H = H_1 e_{sk}^{\frac{f\lambda}{8R_n}} = 0.36 \times 0.15 \times 1.097 = 0.0592(\text{m})$

取60mm

c. 初始端前进浆管段

矩形管段: 250×150×360mm

圆形变矩形管段: 长600mm

$$\text{圆管直径 } D = \sqrt{\frac{4H_1 B_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.36 \times 0.15}{3.14}} = 0.262(\text{m})$$

取260mm

d. 末端回流管段

矩形变圆形: 长400mm

$$\text{圆管直径 } D = \sqrt{\frac{4HB}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.06 \times 0.15}{3.14}} = 0.107(\text{m})$$

取100mm, 见图1-15-15

(5) 匀浆辊的计算

匀浆辊参数如下:

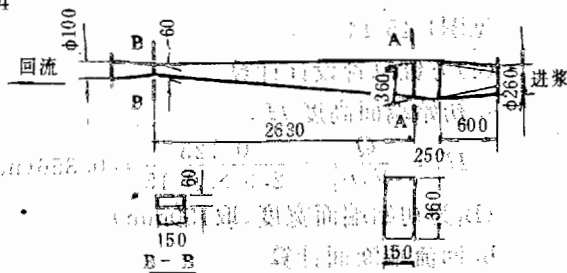


图1-15-15 总管示意图

项 目	直 径(mm)	孔 径(mm)	开 孔 率(%)	线 速(m/s)
驱散匀浆辊	150	25	30	0.34
堰池匀浆辊	150	25	40	0.34
喷口匀浆辊	150	25	50	0.29

(6) 唇板的计算

a. 唇板开口调节范围14±14mm

b. 下唇板上平面与网面距离6mm

c. 唇板口端点与胸辊垂直中心线距离为25mm

d. 喷口角度22°

e. 上唇板设调节机构, 并沿全幅间距130mm, 设置20个螺纹微调机构。

第二节 网部的工艺计算

一、网部的理论计算

(一) 网部脱水速度的计算

1. 脱水速度的理论计算

【说明】脱水速度是一个变值，它在理论上可用柯曾尼—卡门(Kozeny—Carman)公式表示。

【公式】

$$V = \frac{W}{F} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\epsilon^3}{fhS^2(1-\epsilon)^2} \cdot \frac{dp}{dw} \quad (1-15-106)$$

式中 V —— 湿纸幅成形时通过单位面积成形网和纤维积层的脱水速度 [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$]

W —— 通过成形网和纤维积层的流量 (m^3/s)

F —— 成形网和纤维积层形成的过滤层面积 (m^2)

μ —— 水的粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

ϵ —— 积层的孔穴率

S —— 比表面积，即单位体积的纤维所具有的表面积 (m^2/m^3)

h —— 积层上自由悬浮体的深度 (m)

f —— 考虑积层中毛细管(孔穴)形状和毛细管方向的系数，通常 $f=5 \sim 6$

$\frac{dp}{dw}$ —— 过滤层两侧的压力差 (Pa)

2. 真空条件下的脱水速度计算

【公式】

$$V = \frac{\Delta P r^2}{8 \mu L} \quad (1-15-107)$$

式中 V —— 真空下的脱水速度 (m/s)

ΔP —— 毛细管两端压力差 (Pa)

L —— 毛细管长度 (m)

μ —— 水的粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

r —— 毛细管内半径 (m)

(二) 真空条件下的脱水量计算

【公式】

$$q = \frac{\pi r^2 \Delta P}{8 \mu L} \quad (1-15-108)$$

式中 q —— 脱水量 (m^3/s)

其它同式1-15-107

(三) 网部浆料过滤阻力的计算

【说明】造纸浆料的过滤阻力是一项重要特性，从纸机操作的角度来看，更为重要的是纸机上的总过滤阻力。Taylor 推导出了计算纸页和网子的总过滤阻力的计算公式。

【公式】

$$R_r = \frac{P}{\mu} \cdot \frac{(0.590ru^2L)^{1/2}}{2q_n} \quad (1-15-109)$$

式中 R_r —— 过滤阻力

ρ —— 白水密度(g/cm³)

μ —— 白水粘度(cP)

r —— 案辊半径(cm)

u —— 网速(cm/s)

L —— 网宽(cm)

q_n —— 从第 n 个案辊的单位脱水速率[cm³/(cm²·s)]

(四) 滤水速度与比过滤阻力及定量的关系计算

【公式】

$$V = \frac{1}{\mu R} \cdot \frac{\Delta P}{W} \quad (1-15-110)$$

式中 V —— 滤水速度

R —— 纤维层的比过滤阻力

$$R = \frac{KS_0^2(1-\epsilon)}{\epsilon^3 V_0} \quad (1-15-111)$$

V_0 —— 比容积, 即单位质量纤维的容积

W —— 纤维层定量

K —— 系数, 约为5.5

S_0 —— 纤维的比表面积

ϵ —— 空隙率, $0.78 < \epsilon < 0.93$

μ —— 浆的粘度

(五) 纤维成形中浓度的变化计算

1. Ingmason 和 Whitney 式

【公式】

$$C = C_0 + MPN \quad (1-15-112)$$

式中 C —— 纤维的浓度

C_0 —— 无载荷时纤维的浓度, 一般实际应用中取为0

P —— 施加的压强

M, N —— 实验常数

2. Wilder 式

【公式】

$$C = C_0 + (A + B \log t)PN \quad (1-15-113)$$

式中 t —— 时间

A, B —— 常数

其它同上

(六) 纤维层的弹性压缩计算

【说明】 网部滤水过程中纤维层的弹性压缩可用 Wilder 式表示。

【公式】

$$C = C_0 + \frac{M' (4r_0 - 1) P_f^5}{K E C_0 (6 - 4r_0)^2} P \quad (1-15-114)$$

式中 r_0, M' —— 常数
 E —— 纤维弹性模量
 P_f —— 纤维密度
 K —— 负荷分布常数

其它同前

(七) 纸页脱水过程中纸张强度与纤维含量的关系

【说明】 在湿纸页脱水过程中产生的纤维结合分几个阶段。在纸页成形的初级阶段，纤维含量达20~25%时表面张力起主导作用。这一阶段纸页中的空气不断增加，湿纸页的厚度不断下降，湿纸页的抗张强度在固形物含量达到25%以前增加很快。在表面张力达到最大作用时有一段平稳的曲线，其范围根据纸浆类别在固形物含量为25%~45%之间，其关系见图1-15-16。

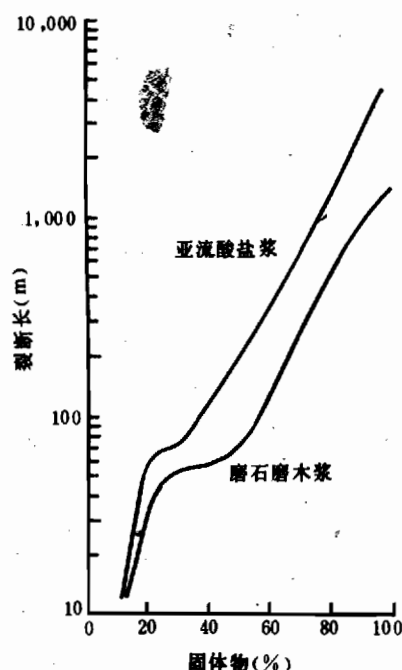


图1-15-16 固体物含量对纸页强度的影响

(八) 通过纤维层的液体流动惯性计算

【公式】

$$-\frac{\Delta P}{L} = \frac{K(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \mu S_0^2 V_s + 0.1 K^{1/2} \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} P S_0 V_s^2 \quad (1-15-115)$$

式中 ΔP —— 沿流动方向通过滤层的压力降
 L —— 沿流动方向的滤层厚度
 K —— 系数，约为5.5
 ϵ —— 空隙率， $0.78 < \epsilon < 0.93$
 μ —— 绝对粘度

S_0 ——纤维的比表面积

V_s ——流速

$$V_s = \frac{Q}{A}$$

(1-15-116)

ρ ——液体密度

A ——疏松介质的横断面积

Q ——液体流量

案辊的脱水工艺计算

(一)案辊脱水抽吸力的计算

$$\Delta P = \frac{\rho V_c^2}{2g} + \frac{2TV_c}{q} + \rho h \left(g - \frac{V_c^2}{r} \right)$$

(1-15-117)

式中 ΔP ——抽吸力(Pa)

ρ ——流体重度(N/m³)

g ——重力加速度(9.81m/s²)

V_c ——网速(m/s)

T ——表面张力(N/m)

q ——单位案辊宽度每秒脱水量[m³/(s·m)]

h ——在尖楔处的网上纸料水平的平均高度(m)

r ——半径(m)

2.车速较高时抽吸力的计算

【说明】在纸机车速较高时,式1-15-116中第二、三两项的值很小,故计算可用下式。

【公式】

$$\Delta P = \frac{\rho V_c^2}{2g} \quad (\text{Pa})$$

式中符号含义及单位同上

3.抽吸区湍动时的抽吸力计算

【说明】抽吸力与抽吸区的湍动情况有关,湍动对最大抽吸力有影响。

【公式】

$$\Delta P = K \frac{\rho V_c^2}{2g} \quad (\text{Pa})$$

(1-15-118)

式中 K ——系数,取1~1.4

其它同上

(二)案辊产生的最大真空度的计算

【说明】案辊产生的最大真空度可用黎斯脱(P.E. Wrist)公式计算

【公式】

$$P = \frac{1}{2} \rho V^2$$

(1-15-119)

式中 P ——真空度(Pa)

ρ ——水的密度($\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1-15-120)$$

γ ——水的重度(N/m^3)

g ——重力加速度($9.81\text{m}/\text{s}^2$)

V ——案辊的圆周速度(m/s),可近似地按网速计算

(三)案辊脱水量的计算

1. 黎斯特(P. E. Wrist)计算公式

【公式】

$$q = \frac{1}{8} \left(\frac{K}{\mu} \right)^2 R \rho^2 V^3 \quad (1-15-121)$$

式中 q ——单位时间内案辊单位长度脱水量 $[\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})]$

K ——常数

μ ——水的粘度($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

R ——案辊半径(m)

ρ ——白水密度($\text{Pa} \cdot \text{s}^2/\text{m}^2$)

V ——网速(m/s)

【讨论】 该表示式存在的问题是 K 值难于精确确定。另外,脱水量还可用下式表示。

$$q = \frac{0.059}{2} \left(\frac{K}{\mu} \right)^2 R \rho V^3 \quad (1-15-122)$$

式中符号含义及单位同上

2. 实验计算式

【说明】 单位幅宽上的脱水量还可用塔尔维克(A. Tallvik)实验式计算

【公式】

$$q = \frac{DV^m}{F^2} \quad (1-15-123)$$

式中 q ——脱水量 $[\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})]$

D ——案辊直径(m)

V ——网速(m/s)

F ——与积层厚度、孔穴率、纸浆的打浆度等有关的过滤因数

m ——常数,与纸浆种类和质量特征等有关,对牛皮纸浆为0.3,对新闻纸浆为1.2

3. 泰勒(C. I. Taylor)公式

【公式】

$$q = \frac{0.590}{2} \left(\frac{K}{\mu} \right)^2 R \rho^2 V^3 \quad (1-15-124)$$

式中符号含义及单位同上

4. 英格曼森(W. L. Ingmanson)和惠特尼(R. P. whitney)公式

【公式】

$$q = \left(\frac{2R}{V} \right) \left(\frac{\Delta P}{\mu W \alpha} \right)^2 \quad (1-15-125)$$

式中 ΔP ——案辊引起的压力差(Pa)

W —— 纸幅的定量 (g/m^2)

α —— 由粘性引起的过滤阻力系数

其它同上

(四) 案辊滤水层厚度计算

【公式】

$$h_i = \frac{Q_i}{bV} \quad (1-15-126)$$

式中 h_i —— 第 n 只案辊的滤水层厚度 (cm)

Q —— 包括成形箱和头 n 只案辊在内的总流量, 其中 i 为案辊的序号 (cm^3/s)

b —— 网上纸页幅宽 (cm)

V —— 网速 (cm/s)

(五) 案辊上浆流层厚度计算

【公式】

$$h_n = h_0 - h_i \quad (1-15-127)$$

式中 h_n —— 第 n 只案辊上的浆流层厚度 (cm)

h_0 —— 闸口喷出浆料的初始厚度 (cm)

h_i —— 同式 1-15-126

(六) 案辊上的浆料浓度计算

【公式】

$$C_n = \frac{h_0 C_0}{h_n} \quad (1-15-128)$$

式中 C_n —— 第 n 只案辊上的浆料浓度 (g/L)

C_0 —— 初始浆料浓度 (g/L)

其它同上

(七) 案辊出侧水楔的临界角计算

【公式】

$$\omega_n = \sqrt[3]{\frac{K\omega(C_0' - C_n)}{C_n g}} \quad (1-15-129)$$

式中 ω_n —— 临界角 ($1/\text{s}$)

ω —— 案辊的角速度 ($1/\text{s}$)

K —— 浆料的过滤系数 (m/s)

C_0' —— 纤维沉积层的浓度 (g/L)

其它同上

【例】 经试验, 已知包括成形箱和头 7 只案辊在内的总流量为 $Q_7 = 435 \text{cm}^3/\text{s}$, 网上的纸页宽度 $b = 1 \text{m}$, 网速 $V = 22.8 \text{cm}/\text{s}$, 喷浆出口浆料层的初始厚度 $h_0 = 5.4 \text{mm}$. 初始浓度 $c_0 = 2.4 \text{g}/\text{L}$, 浆料的过滤系数 $k = 0.0792 \times 10^{-4} \text{m}/\text{s}$, 案辊的角速度 $\omega = 5.361/\text{s}$, 直径 $d = 80 \text{mm}$, 纤维沉积层的浓度 $c_0' = 8 \text{g}/\text{L}$, 求:

① 第 7 只案辊滤水层厚度 h_7

② 第 7 只案辊上的浆料层厚度 h_7'

③ 第 7 只案辊上的浆料浓度 C_7

④第7只案辊出侧水楔的临界角

$$\text{解: ① } h_7 = \frac{Q_7}{bV} = \frac{435}{1 \times 100 \times 22.8} = 0.191(\text{cm})$$

$$\text{② } h'_7 = h_0 - h_7 = 5.4 - 0.191 \times 10 = 3.5(\text{mm})$$

$$\text{③ } C_7 = \frac{h_0 c_0}{h'_7} = \frac{5.4 \times 2.4}{3.5} = 3.7(\text{g/L})$$

$$\text{④ } \omega_7 = \sqrt{\frac{k\omega(C_0 - C_7)}{C_7 g}} = \sqrt{\frac{0.0792 \times 10^{-4} \times 5.36(8 - 3.7)}{9.81 \times 3.7}} = 0.0171(\text{l/s})$$

(八)案辊后纸料流量的计算

【公式】

$$Q = \frac{G[K - (K - 1)n_1]}{C_1 \gamma} \quad (1-15-130)$$

$$G = \frac{qBVC_0}{1000} \quad (1-15-131)$$

式中 Q ——案辊后纸料量(m^3/min)

G ——成纸产量(kg/min)

K ——网部漏浆系数

n_1 ——案辊部分漏浆量占总漏浆量的百分率(%)

C_1 ——案辊后湿纸页干度(%)

γ ——纸料容重(kg/m^3), $r=1000$

q ——纸的定量(g/m^2)

B ——纸的抄宽(m)

V ——纸机的车速(m/min)

C_0 ——成纸干度(%)

【例】某1760纸机生产52g/m²凸版纸,车速为180m/min,成纸干度为93%,漏浆系数为1.5,案辊漏浆占总漏浆的90%,案辊后湿纸页干度为1.8%,求案辊后纸料量。

$$\begin{aligned} \text{解: } G &= \frac{qBVC_0}{1000} \\ &= \frac{52 \times (\frac{1760+40}{1000}) \times 180 \times 93\%}{1000} \\ &= 15.67(\text{kg}/\text{min}) \\ Q &= \frac{G[K - (K - 1)n_1]}{C_1 \gamma} = \frac{15.67[1.5 - (1.5 - 1) \times 90\%]}{1.8\% \times 1000} \\ &= 0.91(\text{m}^3/\text{min}) \end{aligned}$$

三、网部摇振的工艺计算

(一)摇振数的计算

【说明】摇振数表示摇振起作用的有效程度。

【公式】

$$m = na \quad (1-15-132)$$

式中 m —— 摇振数
 n —— 摇振频率 (次/min)
 a —— 振幅(in), 通常情况下系指半振幅($\text{lin}=0.0254\text{m}$)

(二) 摇振强度的计算

【说明】 摇振所起的作用随车速的提高而降低, 为此, 摇振强度可用下式表示。

【公式】

$$I = \frac{n^2 a}{V} \quad (1-15-133)$$

式中 I —— 摇振强度
 V —— 车速(ft/min)($1\text{ft/min}=0.3048\text{m/min}$)

其它同上

【讨论】 按上式以英制单位计算出的数据有如下规律:

① 当 $I < 30$ 时, 摇振对成形质量的影响看不出一定的规律来。多数情况下, 摇振对成形质量有所改进, 但某些情况下会相反。

② 当 $30 < I < 60$ 时, 摇振对改进成形质量的效果最好, 且提高 I 成形质量变得更好。

③ 当 $60 < I < 90$ 时, 基本与 ② 相同, 但摇振的效果不及 ② 种中那么强。

④ 当 $I > 90$ 时, 摇振对成形质量所起的作用不太显著, 只能使成形质量略有改进。

(三) 摇振位移的计算

【说明】 参见图1-15-17。摇振系统是借摇振器传动轴上的曲轴、偏心或偏重的旋转运动来使网案受振部件作往复运动的, 图中为其曲轴连杆机构。网案受振部件在往复运动中的位移计算如下。

【公式】

$$\chi = a(\cos\Phi + \frac{l}{a}\cos\psi) \quad (1-15-134)$$

$$\text{或} \quad \chi = a\left[\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{2}\lambda K^2\right) + \cos\Phi - \frac{1}{2}\lambda\sin^2\Phi - \lambda K\sin\Phi\right] \quad (1-15-135)$$

式中 χ —— 位移(m)
 a —— 曲轴长度或偏心距 (m)
 Φ —— 由水平轴线算起的曲轴回转角(度)
 ψ —— 摇振杆与其水平投影的夹角(度)
 λ —— 比值: $\lambda = \frac{a}{l}$
 l —— 摇振杆长度(m)
 K —— 比值: $K = \frac{h}{a}$

h —— 传动轴中心与受振件和摇振杆连接点的高度差(m)

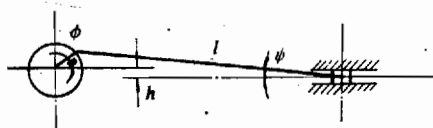


图1-15-17 曲轴连杆机构

(四) 摇振速度的计算

【公式】

$$V = -a\omega\sin\Phi \quad (1-15-136)$$

式中 V —— 摇振速度(m/s), 负号表示与位移的方向相反
 a —— 曲轴长度或偏心距(m)

ω ——曲轴或偏心连线的角速度(1/s)

Φ ——由水平轴线算起的曲轴回转角(度)

(五) 摇振加速度的计算

【公式】

$$U = -a\omega^2 \cos \Phi \quad (1-15-137)$$

式中 U ——摇振加速度(m/s²)

其它同上

(六) 摇振器惯性力的计算

【公式】

$$P = -ma\omega^2 \cos \Phi \quad (1-15-138)$$

式中 P ——惯性力(N), 负号表示与位移方向相反

m ——受振部件的计算质量(N·s²/m), 见下[附注]

其它同上

【附注】 m 的计算方法

①对于无铰接点的受振部件, 可按下式计算:

$$m = \frac{G}{g} \quad (\text{N} \cdot \text{s}^2 / \text{m}) \quad (1-15-139)$$

式中 G ——案辊与摇振梁的总重(N)

g ——重力加速度(m/s²)

②对于有铰接点的受振部件, 当受振部件的质量沿其长度均匀地分布时, 则:

$$m = \frac{G}{3g} \quad (\text{N} \cdot \text{s}^2 / \text{m}) \quad (1-15-140)$$

式中符号含义及单位同上

③对于有铰接点的受振部件, 当受振件的摇振点至铰接点的距离长度为 L , 而在距其铰接点 L_1 处有集中的质量 $\frac{G}{g}$ 时, 则:

$$m = \frac{G}{g} \left(\frac{L_1}{L} \right)^2 \quad (\text{N} \cdot \text{s}^2 / \text{m}) \quad (1-15-141)$$

式中 L ——摇振点至铰接点的距离(m)

L_1 ——有集中载荷 $\frac{G}{g}$ 处距铰接点的距离(m)

其它同上

(七) 摇振器支承板簧的挠度和刚度计算

1. 板簧的挠度计算

【说明】 如图1-15-18所示, 摇振器作用于活动端的力及力矩产生的合成挠度计算如下。

【公式】

$$f = f_1 + f_2 = \frac{TL^3}{3EI} - \frac{TL^3}{4EI} = \frac{TL^3}{12EI} \quad (1-15-142)$$

式中 f ——合成挠度(m)

f_1 ——板簧活动端受到沿摇振方向的力 T 对活动端所产生的挠度(m)

f_2 ——板簧活动端受到夹紧结构产生的力矩对活动端产生的挠度(m)

l —— 板簧的簧片长度(m),按两端固定点间的距离计算

E —— 板簧材料的弹性模数(N/m^2),对于弹簧钢为 2.05×10^{11} ;对磷青铜为 1.13×10^{11} ;对于优质纵纹木材为 0.1×10^{11}

I —— 板簧横截面对直立中心面的惯性矩(m^4)

$$I = \frac{b\delta^3}{12} \quad (1-15-143)$$

δ —— 板簧厚度(m)

b —— 板簧宽度(m)

T —— 板簧活动端受到沿摇振方向的力(N)

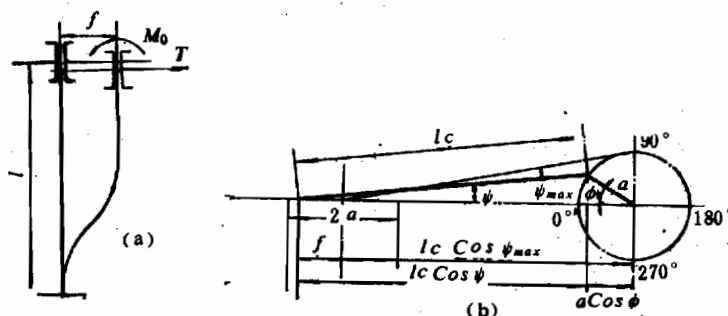


图1-15-18 板簧的挠曲计算

a —— 板簧的挠曲形状 b —— 板簧的挠度

2. 板簧的刚度计算

【说明】 板簧的刚度是指板簧在活动端产生1米挠度所需的力

【公式】

$$C = \frac{T}{f} = \frac{12EI}{l^3} \quad (1-15-144)$$

式中 C —— 板簧的刚度(N/m)

其它同上

(八) 摇振需用功率的计算

【公式】

$$N = \frac{ma^2\omega^3}{2 \times 10^2} \sin 2\phi \quad (1-15-145)$$

式中 N —— 需用功率(kW)

其它同上

【讨论】 当 ϕ 角等于 45° 、 135° 、 225° 、及 315° 时,功率 N 时值最大;因 N 值按正弦曲线规律变化,故其平均值为:

$$\bar{N} = \frac{2}{\pi} N_{\max} = \frac{ma^2\omega^3}{102} (\text{kW}) \quad (1-15-146)$$

式中符号及含义同上

(九) 偏重式摇振器的共振计算

1. 偏重盘转动时产生的离心力计算

【公式】

$$P = m_H l_H \omega^2 = \frac{G_H}{g} L_H \omega^2 \quad (1-15-147)$$

式中 P —— 离心力(N)

m_H —— 盘的不平衡质量($N \cdot s^2/m$)

l_H —— 盘的不平衡质量的重心与回转轴之间的距离(m)

ω —— 盘的角速度(1/s)

G_H —— 盘的不平衡部分的重量(N)

g —— 重力加速度(m/s^2)

2. 共振现象发生的临界角速度计算

【公式】

$$\omega_k = \sqrt{\frac{\Sigma C}{m}} \quad (1-15-148)$$

式中 ω_k —— 临界角速度(1/s)

ΣC —— 板簧系的总计算刚度(包括摇振器本身器壳的直立支撑板簧在内(N/m))

m —— 受振部件的计算质量($N \cdot s^2/m$)

(十) 摇振器的振幅计算

【公式】 当 $m\omega^2 < \Sigma C$ 时:

$$a = \frac{m_H l_H \omega^2}{\Sigma C - m\omega^2} = \frac{m_H l_H}{\frac{\Sigma C}{\omega^2} - m} \quad (1-15-149)$$

当 $m\omega^2 > \Sigma C$ 时:

$$a = \frac{m_H l_H \omega^2}{m\omega^2 - \Sigma C} = \frac{m_H l_H}{m - \frac{\Sigma C}{\omega^2}} \quad (1-15-150)$$

式中 a —— 振幅(m)

其它同前

【讨论】 当 ω (角速度即摇振的频率) 值在 $m\omega^2 < \Sigma C$ 的条件下变化时, ω 值小则式的右边分母大而使振幅 a 也小, ω 增大将使 a 也增大; 当 ω 值恰使 $m\omega^2 = \Sigma C$ 时, 振幅公式的右边分母为零, 发生共振现象; 当 ω 增大至 $m\omega^2 > \Sigma C$ 时, ω 增大将使分母值增大而使振幅值 a 减小。为了避免发生共振, 偏重式摇振器都配有弹簧减振器。

四、脱水板的工艺计算

(一) 脱水板楔形真空区中真空度的分布计算

【说明】 真空度的分布可用泰勒(G·I·Taylor)方程式表示。

【公式】

$$P_x = \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot \frac{2F[1 - (\frac{X}{L})^{1/F}]}{[1 + \frac{F}{1-F}(\frac{X}{L})^{1/2}]^2} \quad (1-15-151)$$

式中 P_x —— 在 X 剖面处的真空度(Pa)

χ —— 顶面与成形网相接触处的后缘之间的距离(m)

ρ —— 水的密度(kg/m³)

V —— 网速(m/s)

F —— 比值:

$$F = \frac{\alpha}{PV} \cdot \frac{\mu}{K} < 1 \quad (1-15-152)$$

μ —— 水的粘度(Pa·s)

$\frac{k}{\mu}$ —— 成形网和其上积层的流阻系数(Pa·s/m)

l —— 脱水板斜面在水平面上的投影长度(m)

α —— 楔角

(二)成形板脱水量的计算

1. 方法一

【公式】

$$W = \frac{k}{\mu} \rho V^2 l F (1 - F) \quad (1-15-153)$$

式中 W —— 脱水量(m³/s)

其它同上

2. 方法二

【公式】

$$Q = F(1 - F) \frac{LPV^2 K}{\mu} \quad (1-15-154)$$

式中 Q —— 脱水板单位宽度脱水量[m³/(s·m)]

K —— 滤水阻力计算中的常数

μ —— 流体粘度(P·s)

ρ —— 流体重度(N/m³)

V —— 网速(m/s)

L —— 脱水板长度(m)

F —— 比值

$$F = \frac{a\mu}{kpv}$$

a —— 脱水板角度(度)

【附图】 不同脱水板长度在不同脱水板角度时的脱水量见图1-15-19。该图数据根据式1-15-154(Taylor)公式计算而得。

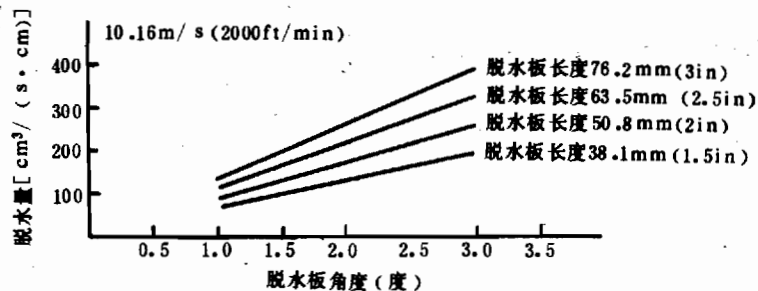


图1-15-19 根据泰勒(Taylor)方程推算出的脱水板的脱水量

(三)脱水板的面宽计算

【公式】

$$b = B_w + (100 \sim 200) \quad (1-15-155)$$

式中 b —— 脱水板面宽(mm)

B_w —— 网宽(mm)

(四)脱水板架的最大挠度计算

【公式】

$$f_{max} = \frac{qL^4}{384EI} \quad (1-15-156)$$

式中 q —— 由脱水板自重产生的匀布载荷(N/m)

$$q = \frac{G}{b} + 98 \quad (1-15-157)$$

G —— 包括脱水板架和板片、板座等的脱水板全部重量(N)

b —— 脱水板面宽(m)

E —— 脱水板架材料的弹性模数(N/m²)

I —— 脱水板架中央截面的惯性矩(m⁴)

(五)使用脱水板的节能计算

【说明】 使用非线性案板可减少真空吸水箱个数,减少网部传动载荷,节省电耗。

一般纸机网部载荷分布是:15%空运转(即没有抄纸和真空度时);35%用在真空箱之前的脱水过程;50%是用于在真空箱的脱水过程,可见,真空吸水箱的载荷所消耗的动力是很大的。根据实践,使用非线性案板可减少真空箱的个数。

【例】 某厂在采用非线性案板后将原有的11个吸水箱改为6个(即减少了5个),若按每个吸水箱消耗5%的能量来估算,设该纸机网案的总载荷为167.78kW(225马力),求:

①减少的功率?

②每年可节省的费用?(每度电按0.03美元计算)

解:①未使用非线性案板前真空吸水箱耗费的电力:

$$167.78 \times 50\% = 83.89(\text{kW})$$

减少5个真空箱后减少的能量:

$$5 \times 5\% = 25\%$$

使用非线性案板后所耗的功率降为:

$$83.89 \times (100 - 25)\% = 62.92(\text{kW})$$

②实际减少的功率:

$$83.89 - 62.92 = 20.97(\text{kW})$$

每年可节省的费用:

$$20.97 \times 24 \times 360 \times 0.03 = 5435(\text{美元})$$

五、真空吸水箱的工艺计算

(一)吸水箱真空度的计算

【说明】 吸水箱所需真空度视生产的纸种、原料种类及车速等不同。部分纸种的真空度见表1-15-11。

(二)吸水箱抽气量的计算

1. 计算法

【公式】

$$V = KB_w \dot{V}_m \quad (1-15-158)$$

式中 V ——吸水箱真空系统的总抽气量(L/min)

B_w ——成形网宽(m)

\dot{V}_m ——造纸机最大工作车速(m/min)

K ——在吸水箱上以每平方米网面上抽吸的平均空气量(L/m²),可按表1-15-12选取

表1-15-11

部分纸种的吸水箱真空度

纸 种	真 空 度 (mH ₂ O)	
	第一个吸水箱	以后的吸水箱
薄页纸(电容器纸、卷烟纸等)	0.04~0.05	0.4~0.5
新闻纸、文化纸	0.2~0.5	2~3
纸 袋 纸	0.6~0.8	2.7~3.0

(1mH₂O=9806.65 Pa)

表1-15-12

按单位成形网通过面积计的吸水箱平均抽吸空气量(L/m²)

造纸机最大工作车速(m/min)	成 形 网 宽 (mm)		
	≤4000	≤5000	≤6300
≤300	14	15	15
>300	15	16	17

2. 查表法

【说明】长网纸机吸水箱及真空伏辊所需的抽气量的计算可根据车速查表,得到每厘米网宽上的抽气量,之后即可按公式计算。见表1-15-13。

【公式】

$$V = Q \frac{B_w}{10^4} \quad (1-15-159)$$

式中 V ——吸水箱(或真空伏辊)在一定真空度下的抽气量(m³/min)

Q ——每厘米网宽上的抽气量[L/(min·cm)],见表1-15-13

B_w ——网宽(mm)

【例】某纸机生产印刷纸,车速为300m/min,网宽为4700mm,求该纸机吸水箱在33832Pa(3.45mH₂O)真空度下的抽气量。

解:按表1-15-13查得吸水箱抽气量为33.5~55.8L/(min·cm),因300m/min的车速对书籍纸是属于中速范围,故抽气量数据可取表中范围的平均值,即44.65L/(min·cm),于是,该纸机网部吸水箱在33832Pa真空度下的抽气量为:

$$\begin{aligned} V &= Q \frac{B_w}{10^4} = 44.65 \times \frac{4700}{10^4} \\ &= 21(\text{m}^3/\text{min}) \end{aligned}$$

(三)吸水箱的尺寸计算

1. 吸水箱的面宽计算

【公式】

$$B_1 = B_w + (500 \sim 600) \quad (1-15-160)$$

式中 B_1 ——吸水箱面宽(mm)

B_w ——网宽(mm)

表 1-15-13

长网造纸机网部普通吸水箱和真空伏辊的需用抽气量

纸 种	吸水箱 每厘米网宽上 的抽气量 ¹ (L/ min)	单室真空伏辊			有真空吸移的双室真空伏辊			
		真空室开口宽 度 (mm)	真空度 (mmHgO)	每平方米米油 面积的抽气 量 (l/min)	第一室每平方厘 米抽吸面积上的 抽气量 ² (L/min)	开口宽度 (mm)	真空度 (mmHgO)	第二室 每平方米米油面积 上的抽气量 (L/min)
未漂硫酸盐浆纸袋纸	134~190	152	6.9	26.4~35.2	13.2	152	6.9	26.4~35.2
含蜡木浆的瓦楞芯纸	134~201	254~305	6.9	22~30.8	13.2	305	6.9	22
含度纸浆的瓦楞芯纸	89.5~134	305	6.9	15.4~22	—	—	—	—
定量 60~150g/m ² 的 未漂硫酸盐浆挂面纸板	134~201	305~457	6.9	17.6~22	—	—	—	—
餐巾纸	67~134	102~203	3.45~5.2	26.4~39.6	13.2	152~203	3.45~5.2	22~20.8
轮转印刷用的新闻纸	55.8	152~254	6.9	17.6~24.2	13.2	152	6.9	17.6~24.2
含 50% 磨木浆的 电话簿和样本印刷纸	55.8	203~254	6.9	17.6~24.2	13.2	152	6.9	17.6~24.2
书籍纸	33.5~55.8	203~305	6.9	13.2~17.6	8.8	152~203	6.9	13.2~17.6
蜡纸原纸	67~134	203~254	6.2~6.9	22~30.8	13.2	152	6.9	13.2~22
书写纸, 证券纸	22.4~55.8	203~254	6.9	11~22	8.8	152	6.9	23~30.8
簿页纸	22.4~44.6	—	—	—	—	—	—	—
卷烟纸	22.4~44.6	203	5.2	8.8~13.2	—	—	—	—
耐油透明纸	16.8	305~358	7.6	4.4~6.6	—	—	—	—
复写原纸	27.9~33.5	203~254	6.9	13.2~15.4	—	—	—	—
屋面瓦楞用纸	112	203	6.9	17.6~22	—	—	—	—
漂白浆食品纸板和纸杯纸板	89.5~134	356~508	7.6	13.2~15.4	—	—	—	—
漂白硫酸盐浆所抄的纸	67~134	203~254	6.9	19.8~30.8	13.2	152~203	6.9	19.8~30.8
纸浆浆板	167~201	305	6.9	17.6~30.8	—	—	—	—

注 1. 真空度 3.45mmHgO 2. 真空度 3.45mmHgO 箱口宽度 100~150mm 3. 1mmHgO=9806.65Pa

2. 吸缝(孔)的抽吸段面宽计算

【公式】

$$B_1 = B_w + (100 \sim 150) \quad (1-15-161)$$

式中 B_1 ——抽吸段面宽(mm)

B_w ——网宽(mm)

(四) 吸水箱面与成形网的摩擦力计算

【公式】

$$T = f \Sigma A_x \cdot P_n \quad (1-15-162)$$

式中 T ——摩擦力(N)

f ——吸水箱与成形网间的动摩擦系数, 枫木面板取0.3~0.4; 橡胶取0.08~0.1

ΣA_x ——全部吸水箱的吸缝(孔)总面积(m²)

P_n ——全部吸水箱的平均真空度(Pa), 其值等于全部吸水箱的真空度总和除以吸水箱个数

(五) 吸水箱克服摩擦阻力所耗功率计算

【公式】

$$N = \frac{TV_w}{60 \times 1000} \quad (1-15-163)$$

式中 N ——功率(kW)

V_w ——网速(m/min)

T ——同上

(六) 吸水箱后纸幅干度的计算

【公式】

$$C = C_0 e^{kt} \quad (1-15-164)$$

式中 C ——吸水箱后纸幅干度(kg 纤维/kg 纸)

C_0 ——吸水箱前纸幅干度(kg 纤维/kg 纸)

e ——自然对数的底

t ——脱水时间(s)

k ——与纸浆物理化学特性和脱水时期的运行条件有关的系数

$$K = \frac{\sqrt{2gP} \times 10^6}{a\mu q} = \frac{4.43 \times 10^6 \sqrt{P}}{a\mu q} \quad (1-15-165)$$

a ——纸浆脱水阻力常数, 与纸浆的物理化学特性有关[m²/(kg·s)], 其值见表1-15-14

μ ——水的运动粘度系数(kg·s/m²)

q ——绝干纸的定量(kg/m²)

g ——重力加速度(9.81m/s²)

p ——真空度(mH₂O)

(七) 纸页在吸水箱上的脱水时间的计算

【公式】

$$t = \frac{226 \times 10^{-9} a \mu q}{\sqrt{P}} \ln \frac{C}{C_0} \quad (1-15-166)$$

式中 t —— 纸页在吸水箱上的脱水时间(s)

表1-15-14 各种纸浆在吸水箱上的脱水阻力常数 a [$m^2/(kg \cdot s)$]

纸 浆 种 类	打浆度°SR	常 数 a 的 值	
		第一脱水阶段	第二脱水阶段
漂白亚硫酸盐木浆	89	270×10^6	861×10^6
漂白亚硫酸盐木浆	69	177×10^6	370×10^6
漂白亚硫酸盐木浆	62	128×10^6	246×10^6
漂白亚硫酸盐木浆	45	48×10^6	155×10^6
磨石机械木浆	65	67×10^6	216×10^6
含30%化学家的新闻纸浆	60	46×10^6	141×10^6
1号印刷纸的纸浆	50	58×10^6	164×10^6
铜纸原纸用的纸浆	30	37.5×10^6	126×10^6
未漂硫酸盐木浆	25	34×10^6	71×10^6

其它同上

(八)吸水箱总面积的计算

【公式】

$$F = \frac{W}{S} = BnL_x \quad (1-15-167)$$

式中 F —— 吸水箱总面积(m^2)

W —— 造纸机每小时理论产纸量(kg/h)

S —— 单位吸水箱总面积产纸量 [$kg/(h \cdot m^2)$]

B —— 卷纸机上的毛纸幅宽(m)

n —— 吸水箱个数

L_x —— 每个吸水箱沿纸机纵向上的长度(m),一般为0.2~0.3m

(九)湿真空箱的水封管高度计算

【说明】 湿真空箱是一种新型的脱水元件,在这种真空箱上经过的纸页,比经过普通真空箱面上的纸页要湿些,可以减缓脱水速率,提高纸料的留着率,见图1-15-20所示。

【公式】

$$H = P + 250 \quad (1-15-168)$$

式中 H —— 水封管高度(mmH_2O)

P —— 真空度(mmH_2O)

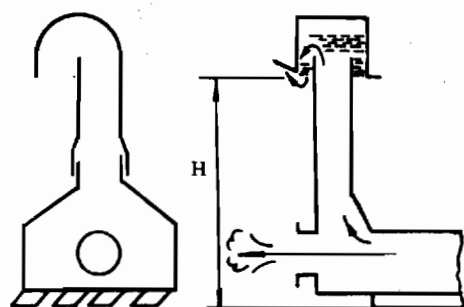


图1-15-20 湿真空箱

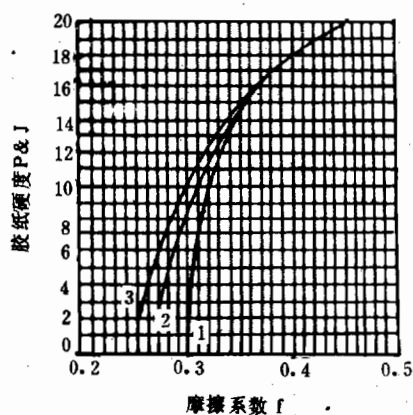


图1-15-21 各种成形网与包胶的辊面之间的摩擦系数

1—铜网 2—多丝塑料网 3—单丝塑料网

(十)湿吸箱脱水量的计算

【说明】 研究发现,湿吸箱的总脱水量与第一条缝的脱水量有很大关系。

【公式】

$$Q = Q_1 \Delta P^\beta n^\alpha \quad (1-15-169)$$

式中 Q —— 湿吸箱脱水量 (m^3/m^2)

Q_1 —— 湿吸箱第一条缝在980Pa (100mmH₂O)真空度和特定浆种及初始积层定量条件下的脱水量 (m^3/m^2)

ΔP —— 湿吸箱中真空度 (mmH₂O)

β —— 常数, 对粘状打浆的亚硫酸盐浆为0.59, 对牛皮浆为0.65

n —— 湿吸箱上条缝数

α —— 常数, 与浆种和真空度等有关, 有时又随真空度的提高而呈线性降低, 但其数值比较稳定, 一般在0.56~0.76之间

【注意】 脱水量在其他条件相同时与车速成反比。

(十一) 湿吸箱的尺寸确定计算

1. 湿吸箱的面宽计算

【公式】

$$B_1 = B_w + (150 \sim 250) \quad (1-15-170)$$

式中 B_1 —— 吸水箱宽度 (mm)

B_w —— 网宽 (mm)

2. 湿吸箱吸缝宽度计算

【公式】

$$B_f = B_s + 2(a + b) \quad (1-15-171)$$

式中 B_f —— 吸缝宽度 (mm)

B_s —— 湿纸幅宽 (mm)

a —— 冲边宽度 (mm)

在用定幅装置时, $a = 25 \sim 30 \text{mm}$

在无定幅装置时, $a = 30 \sim 50 \text{mm}$

b —— 每侧的定幅装置在网上所占的宽度 (mm), 其值视定幅装置的具体结构而定

(十二) 吸水箱后纸料量的计算

【公式】

$$Q = \frac{G[k - (k - 1)(n_1 + n_2)]}{C\gamma} \quad (1-15-172)$$

式中 Q —— 吸水箱后纸料量 (m^3/min)

G —— 纸机理论产纸量 (kg/min)

K —— 漏浆系数

n_1 —— 案辊部分漏浆量占总漏浆量的百分率(%), 对于一般纸张 n_1 值为90%左右

n_2 —— 真空吸水箱漏浆量的百分率(%), 对于一般纸浆的 n_2 值为5%左右

C —— 真空吸水箱后湿纸页干度(%)

【例】 某厂1760纸机生产52g/m²凸版纸, 车速180m/min, 成纸干度为93%, 漏浆系数为1.5, $n_1 = 90\%$, $n_2 = 5\%$, 吸水箱后纸页干度为12%, 求真空吸水箱后纸料量。(纸料密度取1000kg/m³)

$$\text{解: } G = \frac{VqB_m Tc}{1000}$$

$$= \frac{180 \times 52 \times \left(\frac{1760 + 40}{1000} \right) \times 93\%}{1000} = 15.67 (\text{kg/min})$$

$$Q = \frac{G[k - (k-1)(n_1 + n_2)]}{C\gamma}$$

$$= \frac{15.67[1.5 - (1.5-1)(90\% + 5\%)]}{12\% \times 1000}$$

$$= 0.13 (\text{m}^3/\text{min})$$

六、伏辊及损纸池的工艺计算

(一)真空伏辊抽气量的计算

1. 根据纸机的宽度和车速计算

【公式】

$$Q = \lambda B_w V \quad (1-15-173)$$

式中 Q —— 抽气量 (L/min)

B_w —— 网宽 (m)

V —— 纸机车速 (m/min)

λ —— 单位面积空气流量 (L/m^2), 见表1-15-15

2. E·T 巴齐宁计算式

表1-15-15

单位面积空气流量 $\lambda (\text{L}/\text{m}^2)$

纸机车速 (m/min)	网 宽 (m)		
	至 4	至 5	至 6.3
小于 300	45	50	—
大于 300	50	55	60

【公式】

$$Q = Q_0 (R - 1) + KFV \quad (1-15-174)$$

式中 Q —— 真空压力 P_v 下的空气量 (m^3/min)

Q_0 —— 辊壳钻孔的容积 (m^3/min)

R —— 大气压力对真空压力的比值

$$R = \frac{P_v}{760 - P_v} + 1$$

V —— 空气通过纸幅的速度 (m/min)

F —— 辊壳钻孔的有效截面的面积 (m^2)

K —— 修正系数

(二)真空伏辊真空度的确定

【说明】 不同纸种及定量时真空伏辊的真空度见表1-15-16。

表1-15-16

不同纸种真空伏辊的真空度

纸 种	纸机车速(m/min)	建议的真空度(mmHg)	真空泵的生产能力(m ³ /min)
新闻纸(51g/m ²)	200	400	13
	250	400	17.5
	300	500	24
	350	550	28
	400	550	34
牛皮袋纸(80g/m ²)	100	300	10
	150	350	13.5
	200	400	15
	250	450	17.5
	300	500	19.5
	400	550	24
	500	550	30
1号书写纸(65g/m ²)	100	200	7.5
	150	250	10
	200	300	13
	250	400	17.5
	300	500	22.5
2号书写纸和凸版印刷纸(63g/m ²)	150	300	9
	200	350	13
	250	400	17.5
	300	500	22.5
	350	550	22.5
	400	550	32
烟嘴纸(120g/m ²)	75	400	5.5
	100	450	6.5
卷烟包装纸(160g/m ²)	150	450	8.5
	200	500	12
电容器纸(6~10μm)	65	250	5
	100	300	6.5
复写原纸及烟卷纸(15~16g/m ²)	120	300	6
	150	350	7.5
石蜡原纸(22g/m ²)	100	300	6
	150	350	8
羊皮纸(40g/m ²)	125	300	7
	150	350	9.5
包装纸及糊墙纸(80~100g/m ²)	100	300	6.5
	150	300	10.5
	200	400	15
亚硫酸木节粗包装纸(100~200g/m ²)	125	350	7.5
	150	350	10.1
	200	400	13

(三)真空伏辊内真空室箱口面积的计算

【公式】 $A = bA_1$ (1-15-175)

式中 A ——真空伏辊(或真空箱)真空室箱口面积(m^2)

b ——真空室箱口宽度(m)

A_1 ——真空伏辊钻孔面宽(m)

(四)真空伏辊传动能力的计算

1. 成形网松边全幅张力的计算

【公式】 $T = T_1 \frac{1}{e^{cf\alpha} - 1}$ (1-15-176)

式中 T ——松边全幅张力(N)

T_1 ——要求的圆周力(N)

e ——自然对数的底

c ——真空伏辊的辊面实体率(%)

$$C = 1 - C_1$$

C_1 ——按扩口计算的辊面开孔率(%)

f ——成形网与真空伏辊面的摩擦系数,见表1-15-18及图1-15-21

α ——成形网在真空伏辊上的包角(弧度)

2. 成形网紧边全幅张力的计算

【说明】对于配有上伏辊和驱网辊的真空伏辊,其成形网紧边全幅张力可按下列式计算。

【公式】 $T = T_2 e^{(f_1 \alpha_1 + f_2 \alpha_2)} + f_1 P_x A_x + f_2 q_1 b$ (1-15-178)

式中 T ——紧边全幅张力(N)

T_2 ——成形网包绕驱网辊的松边全幅张力(N)

$$T_2 = q_3 B_w$$

q_3 ——成形网松边运行张力(N/m),见表1-15-17

B_w ——成形网宽(m)

f_1, f_2 ——成形网对真空伏辊和驱网辊的辊面的摩擦系数,见表1-15-18及图1-15-21

α_1, α_2 ——成形网对真空伏辊和驱网辊上的包角(弧度)

P_x ——真空伏辊各真空室的真空度(Pa)

A_x ——真空伏辊各真空室的抽吸面积(m^2)

q_1 ——上伏辊的线压力(N/m)

b ——上伏辊辊面宽(m)

c ——同式1-15-176

(五)真空伏辊传递功率的计算

【公式】 $N = \frac{KT'}{61148.33}$ (1-15-179)

表1-15-17

成形网的松边运行张力

生产纸种	松边张力 (kg/cm)					
	磷青铜网			塑料网		
	最小	正常	最大	最小	正常	最大
低定量文化纸类,用100目的网	2.7	3.2~3.6	4.0			
新闻纸、样本用纸、印刷纸类,用60目的网	4.5	5.4	6.25	5.4	5.8	6.3
牛皮纸瓦楞原纸,挂面纸板	5~5.4	5.8	6.25			

(1kg/cm=980.7N/m)

表1-15-18

成形网与辊面之间的摩擦系数

辊面材料	成形网种类		
	单丝塑料网	多丝塑料网	磷青铜网
铜或不锈钢	0.18~0.20	0.22	0.25
玻璃纤维	0.25	0.25	0.25

式中 N —— 功率(kW) K —— 纸机常数

$$K = B_w V_m \quad (1-15-180)$$

 V_m —— 纸机车速(m/min) B_w —— 成形网宽(m) T' —— 成形网紧边张力(N/m)

$$T' = \frac{T}{B_w} \quad (1-15-181)$$

 T —— 同式1-15-178

(六)真空伏辊辊面排孔的计算

【说明】真空伏辊的辊面排孔多用双螺旋线排孔形式,以减少噪音和真空箱封条的磨损。在双螺旋线排孔形式中,推荐采用等边单元三角形排孔,否则,应采取边长接近于等边单元三角形边长的等腰或等边三角形。

排孔中孔位确定的规律是:把单元矩形的互相垂直的长短两边 t_y 与 t_x 均按单元矩形内应有的孔数 n 来等分并从各等分点上引出平行于边的分格线,则在沿长边的方向上矩形内每条分格线上都有一个孔的中心,对于沿短边方向上也一样。在这种分格线网的交点上直接定出单元矩形内所有各孔的中心位置。这种方法也有利于在加工中的划线及在机床上的定位。

1. 等边单元三角形的边长计算

【公式】

$$S = \sqrt{\frac{\pi d^2}{2\sqrt{3}\lambda}} \quad (1-15-182)$$

式中 S —— 边长(mm) d —— 孔径(mm) λ —— 开孔率(%)

2. 单元矩形长短边长之间的关系

【说明】单元矩形的短长边长之比为 $1:\sqrt{3}$ 。

【公式】

$$\frac{t_x}{t_y} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{或} \quad t_y = \sqrt{3} t_x \quad (1-15-183)$$

式中 t_y —— 单元矩形长边边长(mm)

t_x —— 单元矩形短边边长(mm)

3. 单元矩形边长的计算

【说明】 如图1-15-7和图1-15-22所示,以 AE 方向的螺旋线组为第一主螺旋线,而在沿辊筒圆周方向的 y 轴上的单元矩形边 t_y 的范围内在第一主螺旋线上有 m 个孔(包括单元矩形角上的那个孔),或者说,在 t_y 范围内(包括其两端,即单元矩形的两个相邻顶点 A 及 C) 有 m 条第二主螺旋线,则单元矩形在 y 轴上的边长 t_y 可用下式计算。

【公式】

$$t_y = S \sqrt{m^2 - m + 1} \quad (m \geq 3) \quad (1-15-184)$$

$$t_x = \sqrt{3} S \sqrt{m^2 - m + 1} \quad (1-15-185)$$

式中符号含义同上

4. 单元矩形面积中所包含的孔数

【公式】

$$n = 2(m^2 - m + 1) \quad (1-15-186)$$

式中 n —— 孔数(个)

其它同上

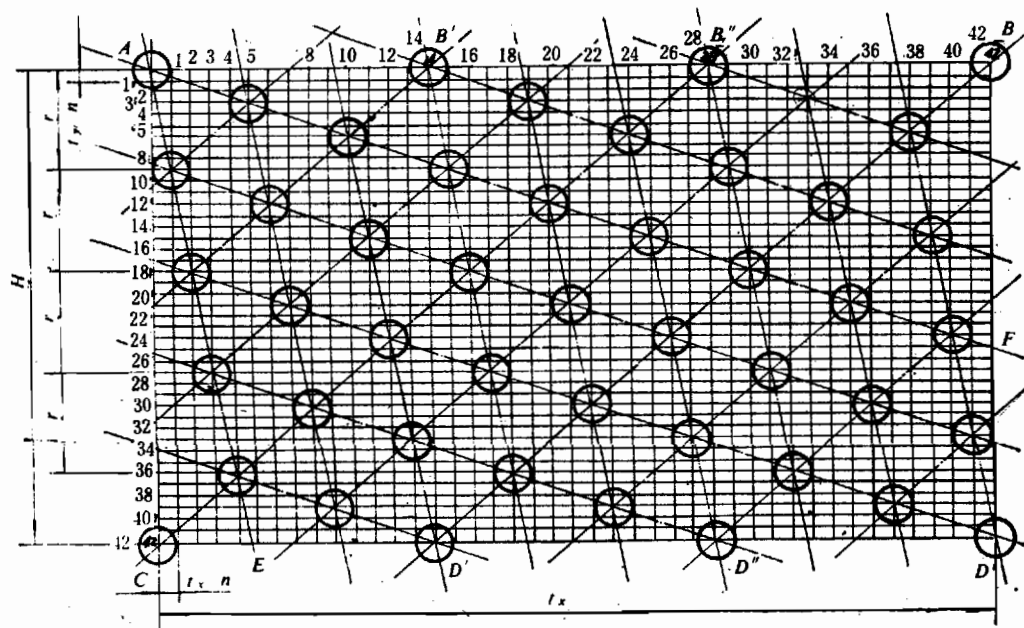


图1-15-22 等边单元三角形双螺旋线的排孔形式

【讨论】 当 $(m^2 - m + 1)$ 之值可被 3 整除时,则这个单元矩形的长边 t_x 就可以被均分为 3 段,使原来的单元矩形变成为 3 个新的小的单元矩形,其长边即原来单元矩形的短

边 $t_y = S\sqrt{m^2 - m + 1}$, 而其短边为 $t_x = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot S\sqrt{m^2 - m + 1}$ 。在这个新的单元矩形中有孔数 n' , 则:

$$n' = \frac{n}{3} = \frac{2}{3}(m^2 - m + 1)$$

5. 对单位矩形内分格线网上定孔的中心的计算

【说明】 对上述单元矩形内分格线网上定孔的中心时可按以下方法进行: 以单元矩形沿 y 轴边上的顶点 A 为起点, 沿两条边把分格线网的分格线依次编号 $1, 2, 3, \dots, n$ (如图1-15-22), 则在沿 x 轴方向上的第一条分格线上 (即平行于 y 轴的第一条分格线) 的孔1的中心按双螺旋线排孔的原理必然位于通过 A 点的第一主螺旋线上且距 x 轴 r 个格子之处, 而:

$$r = 2m - 1$$

在第二条分格线上的孔2的中心, 将在 y 轴方向上距孔1中心 r 个格子, 依次类推。在第 m 条分格线上的孔 m 的中心因为其中心距单元矩形的下边的格数已不到 r 个 (只剩下了 $m + 1$ 个格子) 而要数到底边后再自 x 轴连续地数到第 r 格。等边单元三角形双螺旋线排孔的数据见表 1-15-19。

表1-15-19

等边单元三角形双螺旋线排孔的数据

m	等边单元三角形边长为 S 时在单元矩形中					
	$m^2 - m + 1$	t_y	t_x	沿 y 轴上的边	孔数 n	$r = 2m - 1$
3	7	$s\sqrt{7}$	$s\sqrt{21}$	短边	14	5
4	13	$s\sqrt{13}$	$s\sqrt{39}$	短边	26	7
5	21*	$s\sqrt{21}$	$s\sqrt{7}$	长边	14	9
6	31	$s\sqrt{31}$	$s\sqrt{93}$	短边	62	11
7	43	$s\sqrt{43}$	$s\sqrt{129}$	短边	86	13
8	57*	$s\sqrt{57}$	$s\sqrt{19}$	长边	38	15
9	73	$s\sqrt{73}$	$s\sqrt{219}$	短边	146	17
10	91	$s\sqrt{91}$	$s\sqrt{273}$	短边	182	19
11	111*	$s\sqrt{111}$	$s\sqrt{37}$	长边	74	21

注: * 为 $(m^2 - m + 1)$ 可被 3 整除的情况, 即 $m = 3k + 2$ (k 为正整数)

【讨论】 由上可知, t_y 必须能等分辊筒的圆周 πD , 而且同时 t_x 必须能等分钻头间距固定不变的多钻头机床的钻头间距 T 。如果用表1-15-19中的相应数据不能同时满足这两个条件, 就不能采用等边单元三角形的排孔形式, 可按下列步骤进行排孔计算:

①按已知的孔径 d 及要求的开孔率 λ 求得单元三角形的面积 A :

$$A = \frac{\pi d^2}{8\lambda} \quad (1-15-187)$$

由此可按已得到的合适的 t_y 及 t_x 用下式来求出在单元矩形中的孔数 n , 必要时应略为修整 λ 值以保证 n 为正整数:

$$n = \frac{t_y t_x}{2A} \quad (1-15-188)$$

②按所选定的 d 与 λ 值算出等边单元三角形边长 S , 暂时令其等于在第一主螺旋线上的单元三角形边长 S_1 , 即 $S_1 = S$ 。再按 t_y 和 t_x 绘出的单元矩形中按 n 画出等分边长的分格线网。在这个分格线网上用前述规律定出各孔的中心, 其 r 值按下式计算并圆整成整数:

$$r = \frac{\sqrt{S_1^2 n^2 - t_x^2}}{t_y} \quad (1-15-189)$$

③ 按圆整后的 r 值重新计算 S_1 的应有值:

$$S_1 = \frac{\sqrt{r^2 + T_y^2 + T_x^2}}{n} \quad (1-15-190)$$

④ 算出单元三角形在第二主螺旋线上的边长 S_2 及第一、第二主螺旋线间的夹角 θ :

$$S_2 \sin \theta = \frac{2A}{S_1} \quad (1-15-191)$$

取 θ 接近于 60° 而定出 S_2 , 此时,

$$A = \frac{t_y \cdot t_x}{2n} \quad (1-15-192)$$

⑤ 核算实际开孔率

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{4 S_1 S_2 \sin \theta} \quad (1-15-193)$$

⑥ 设计专用的多钻头机床时,应考虑所适应的真空辊(伏辊及压辊)辊径系列,使钻头间距 T 能在大多数情况下符合等边单元三角形双螺旋线排孔形式的要求。

(七) 真空伏辊“消音车速”的计算

【说明】 真空伏辊工作时发生很大的噪音,噪音基本上是由于当辊孔离开抽吸区时以很高的速度冲入孔中的空气所造成的。当辊孔呈螺旋线排列时,噪音有所降低,因为同时离开抽吸区的孔数较少。噪音的大小与车速的控制有关,为此,根据已给定的条件可以求出“消音车速”,即在此车速下,能达到最大程度消除噪音的效果。

【公式】

$$V_d = 10320 \frac{r_y}{h} \quad (1-15-194)$$

式中 V_d —— 消音车速(m/min)

r_y —— 顺序离开真空室密封条的前后两辊间沿 y 轴(即沿真空辊圆周方向)上的中心距(m)

h —— 辊壳总壁厚(m)

【注意】 当车速高于或低于 V_d 值时,噪音都会增大;但当达到 $2V_d, 3V_d, \dots, KV_d$ (K 为正整数) 时,仍同样达到消音效果。因此,在真空辊壳强度与刚度允许的条件下,应使 r_y 值尽可能地小些以得到较小的“消音车速” V_d , 因为 V_d 值越小,它与它的倍数值的间距也越近,在工作车速范围内可以得到较多的消音车速值。

【例】 某真空伏辊辊壳总壁厚 h 为 76.2mm, 按离开真空室密封条顺序排列的孔 1 与孔 2 沿 x 轴相距 8 个分格, 其 t_x 为 37.34mm, 单元矩形内孔数 n 为 21, 求消音车速。

$$\text{解: } r_x = 8 \times \frac{37.34}{21} = 14.22(\text{mm})$$

故 $r_y < 1.5h = 11.43\text{mm}$, 符号第一消音条件, 孔 1 与孔 2 沿 y 轴方向上相距 1 个分格, 其 t_y 为 26.67mm, 故:

$$r_y = \frac{26.67}{21} = 1.27(\text{mm})$$

因此,得消音车速:

$$V_d = 10320 \times \frac{r_y}{h} = 10320 \times \frac{0.00127}{0.0762} = 172(\text{m/min})$$

【附】消音条件

①沿真空箱密封条的方向即 x 轴方向上的距离符合 $r_x \leq 1.5h$;

②沿真空辊圆周方向即 y 轴方向上的距离符合 $r_y = \frac{Vh}{10320}$ (V —— 真空辊的圆周速度 m/min)

(八)伏辊后纸料量的计算

【公式】

$$Q = \frac{G[K - (K - 1)(n_1 + n_2 + n_3)]}{CY} \quad (1-15-195)$$

式中 Q —— 纸料量(m^3/min)

C —— 伏辊后湿纸页干度(%), 见表1-15-10

n_3 —— 伏辊部分漏浆量占总漏浆量的百分率(%), 对于一般的纸张 n_3 为1%左右。

γ —— 纸料的容重(kg/m^3), $\gamma = 1000$

其它同式1-15-172

【例】某1760纸机生产52 g/m^2 凸版纸, 车速180 m/min , 成纸干度93%, 漏浆系数为1.5, $n_1 = 90\%$, $n_2 = 5\%$, $n_3 = 1\%$, 伏辊后纸页干度为21%, 求伏辊后纸料量。

$$\begin{aligned} \text{解: } G &= \frac{VB_m QT_c}{1000} = \frac{1800 \times (\frac{1760 + 40}{1000}) \times 52 \times 93\%}{1000} \\ &= 15.67(\text{kg/min}) \\ Q &= \frac{G[K - (K - 1)(n_1 + n_2 + n_3)]}{CY} \\ &= \frac{15.67[1.5 - (1.5 - 1)(90\% + 5\% + 1\%)]}{21\% \times 1000} \\ &= 0.076(\text{m}^3/\text{min}) \end{aligned}$$

(九)伏辊损纸池有效容积的计算

【公式】

$$V = \frac{(B_s + 2a)V_m q}{10^6} \times \frac{C}{C_1} \times t \quad (1-15-196)$$

式中 V —— 伏辊损纸池有效容积(m^3)

B_s —— 湿纸幅宽(m)

a —— 成形网上的冲边宽度(m)

V_m —— 造纸机车速(m/min)

q —— 纸的定量(g/m^2)

C —— 成纸干度(%)

C_1 —— 伏辊损纸池的输浆浓度(%), 通常取 $C_1 = 2.5 \sim 3\%$

t —— 相应于伏辊损纸池有效容积的贮浆时间(min), 通常取 $t \geq 15 \sim 30\text{min}$

(十)伏辊损纸池搅拌桨叶直径的选取

【公式】

$$D = (0.25 \sim 0.35)B_w \quad (1-15-197)$$

式中 D —— 浆叶直径(mm)

B_w —— 成形网宽(mm)

七、网案及成形网的工艺计算

(一)网案面积的计算

【公式】

$$A_w = B_m L_w \quad (1-15-198)$$

式中 A_w —— 网案面积(m^2)

B_m —— 卷纸机上毛纸幅宽(m)

L_w —— 网案长度(m)

(二)网案有效面积的计算

【公式】

$$A = B_s L_w \quad (1-15-199)$$

式中 A —— 网案有效面积(m^2)

B_s —— 网案上纸页宽度(m)

L_w —— 同上

【例1】 ZW₄型1760纸机网案长度为8260mm,生产凸版纸,上网纸宽为1967mm,卷纸机上纸的宽度为1800mm,求网案有效面积。

解: $A = B_s L_w = 1.967 \times 8.26 = 16.25(m^2)$

【例2】 1760纸机生产凸版纸,纸页收缩率为10%,网案长8260mm,求网案有效面积。

解: $B_w = \frac{1760 + 40}{1 - 10\%} = 2000(mm)$

$$A = B_w L_w = 2.0 \times 8.26 = 16.52(m^2)$$

(三)网案长度的计算

【公式】

$$L_w = \frac{0.06 V_{max} q}{K} \quad (1-15-200)$$

式中 L_w —— 网案长度(m)

V_{max} —— 造纸机最大车速(m/min)

q —— 纸的定量(g/m^2)

K —— 网案单位有效面积产纸量[$kg/(m^2 \cdot h)$]

【例】 某1880纸机生产80g/ m^2 胶版印刷纸,最大车速106m/min,网案单位面积产纸量 $K = 51kg/(m^2 \cdot h)$,求网案长度。

解: $L_w = \frac{0.06 \times 106 \times 80}{50} = 10.18(m)$

(四)网案单位有效面积产纸量(网案出力)的计算

【公式】

$$K = \frac{G}{L_w B_s} = \frac{0.06 q V_m B_m}{L_w B_s} = \frac{0.6 q V_m (1 - \epsilon)}{L_w} \quad (1-15-201)$$

式中 K —— 网案出力[kg 纸/ $(m^2 \cdot h)$]

G ——造纸机单位时间产量(kg 纸/h)

V_m ——纸机车速(m/min)

q ——纸的定量(g/m^2)

L_w ——网案长(m)

B_s ——网案上纸宽(m)

$$B_s = \frac{B_m}{1 - \epsilon}$$

B_m ——纸的抄宽(m)

ϵ ——纸的总横缩率(%),见表1-15-18及表1-15-21

【例】某1760纸机生产60g/m²双胶纸,车速为120m/min,网案长度为8260mm,纸的总横缩率为4%,求网案出力。

解: $K = \frac{0.06qV_m(1 - m)}{L_w}$

$$= \frac{0.06 \times 60 \times 120(1 - 4\%)}{8.26}$$

$$= 50.2 [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

【附表】不同纸种的网案出力见表1-15-20

不同纸种的网案出力			
纸 的 类 别	定 量(g/m^2)	车 速(m/min)	网案出力 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$
电容器纸	9~22	40~45	2.5~3
薄页纸	16~20	80~100	9~15
薄页纸及中等定量纸	21~45	100~125	12~45
吸水纸	55~115	50~120	35~45
防油纸	35~70	100	28~32
一号印刷纸及书写纸	65~120	120~210	65以下
		250~350	70~80
		450~450	80~90
中等定量纯化学浆制的,并含有少量机木浆的纸	65~110	100~145	55~65
二号、三号印刷纸、书写纸和纸袋纸	45~100	180~340	80~90
中等定量与定量很大的含有机木浆的纸	50~300	50~200	50~70
新闻纸	50~52	300以下	70~80
		300~400	80~95
		400~700	95~150
中等定量与定量很大的破布浆纸及定量很大的纯化学浆纸	60~275	25~110	30~50
工业用纸	40~134	45~125	15~45
单面有光纸	20~125	50~300	10~45
含少量填料的照相原纸、制图纸、绘图纸等化学浆原纸	30~200	50~100	45~60
封面纸	60~120	100~200	60~80

(五)网案出力的校核计算

【说明】对于定型纸机,网案长度是一定的,要想达到某一产纸量,网案能力是否能达到,需要进行校核。网案出力计算之后,与设计规范所规定的网案出力对照,是否在所规定的范围之内,如果超出所规定的范围,说明网案能力不够,需要降低车速或加长网案。

果需要确定网案长度,可先确定网案出力,再计算其长度。

$$\text{【公式】} \quad K = \frac{G}{L_w B_s} = \frac{Q(1-\epsilon)}{K_1 K_2 L_w B_m} \quad (1-15-202)$$

式中 K ——网案出力 $[\text{kg 纸}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$

G ——造纸机每小时实际产纸量 (kg/h)

$$G = \frac{Q}{K_1 K_2} \quad (1-15-203)$$

K_1 ——抄造率 $(\%)$

K_2 ——成品率 $(\%)$

Q ——成品纸的量 (kg/h)

B_s ——网案上湿纸宽度 (m)

$$B_s = \frac{B_m}{1-\epsilon}$$

B_m ——卷纸机上纸的宽度 (m)

ϵ ——纸的总横向收缩率 $(\%)$,见表1-15-8

L_w ——网案长度 (m)

(六)网案生产能力的计算

$$\text{【公式】} \quad G = 0.06qB_s V_w \quad (1-15-204)$$

$$G = KB_s L_w \quad (1-15-205)$$

式中 G ——网案每小时产纸量 (kg/h)

q ——纸的定量 (g/m^2)

B_s ——网案上纸宽 (m) ,见式1-15-211

V_w ——网速 (m/min) ,计算时可近似取为车速

K ——网案出力 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$

L_w ——网案长度 (m)

【例】某1760纸机生产 $60\text{g}/\text{m}^2$ 凸版纸,网部上纸宽度为 1967mm ,车速为 $130\text{m}/\text{min}$,求网案的产量。

解: $G = 0.06qBV_w = 0.06qBV = 0.06 \times 1.967 \times 130 \times 60 = 920.56(\text{kg}/\text{h})$

(七)网案高度的计算

【说明】参见图1-15-23。

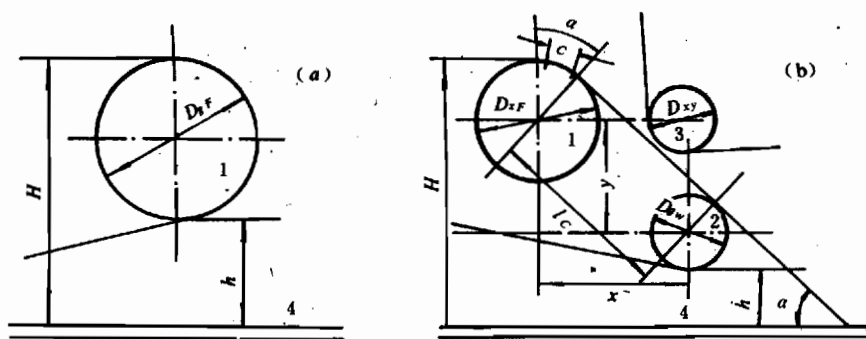


图1-15-23 网案的高度

(a)——无驱网辊时 (b)——有驱网辊及真空吸移辊时 1—真空伏辊 2—驱网辊 3—吸移辊 4—底轨

1. 当无驱网辊时的网案高度计算

【公式】

$$H = D_z + h \quad (1-15-206)$$

式中 H —— 网案高度(mm)

D_z —— 真空伏辊直径(mm)

h —— 真空伏辊下方的高度(mm), 通常对于常见的悬臂式和移出式网案可取 $h = 400 \sim 600\text{mm}$

2. 有驱网辊及真空吸移辊时的网案高度计算

【公式】

$$H = \frac{D_z}{2} + Y + \frac{D_q}{2} + h \quad (1-15-207)$$

$$\text{或 } H = \frac{D_z + D_q}{2} + h + l_c \sin \alpha \quad (1-15-208)$$

式中 H —— 网案高度(mm)

D_q —— 驱网辊直径(mm)

l_c —— 真空伏辊与驱网辊间的中心距(mm), 初步设计时可取为:

$$l_c = \frac{D_z + D_q}{2} + D_x \quad (1-15-209)$$

D_x —— 真空吸移辊直径(mm)

α —— 真空伏辊与驱网辊间的网段相对于水平线的倾射角度, 即成形网在真空伏辊上的包角(度), 在初步设计时可取为:

$$\alpha = 2 \sin^{-1} \frac{2C}{D_z} + (15 \sim 20) \quad (1-15-210)$$

C —— 真空伏辊真空箱吸口总宽度(mm)

(八) 成形网上湿纸幅宽的计算

【说明】 湿纸幅宽是指在成形部分经过冲边后引入压榨部分的湿纸幅的宽度。

【公式】

$$B_s = \frac{B_m}{1 - \epsilon} \quad (1-15-211)$$

式中 B_s —— 湿纸幅宽(mm)

B_m —— 卷纸机上毛纸宽度(mm)

ϵ —— 纸幅在造纸机上的横向总收缩率(%), 见表1-15-8及表1-15-21

(九) 成形网长度的计算

【公式】

$$L_w = c L_w \quad (\text{m}) \quad (1-15-212)$$

$$L_w = K \sqrt{P} \quad (\text{ft})$$

式中 L_w —— 网长(m 或 ft)

C —— 网的包角系数; 开式递纸时 $C = 2.16 \sim 2.23$; 真空引纸时 $C = 2.34 \sim 2.4$; 网案高度大的造纸机 $C = 2.47$

L_w ——网案长度,即胸辊中心线至伏辊中心线之间的距离(m)

K ——常数,见表1-15-22

P ——造纸机产量[Ib/(h·英寸净纸幅宽)]

表1-15-21

各种纸在造纸机上的横向总收缩率

纸种及所用的纸浆	定量(g/m ²)	纸浆的打浆度(*SR)	横向总收缩率(%)
薄纸类			
✓ 硫酸盐木浆电容器纸	8~15	94~98	8~12
破布半料浆卷烟纸	16	85~90	4.5~6
破布半料浆复写原纸	16	85~90	4.5~6
亚硫酸木浆蜡纸原纸	22~28	75~78	5~6
硫酸盐木浆蜡纸原纸	22~28	75~78	7~8
薄型浸渍纸	20	32~35	3.5~4.5
耐油纸类			
描图纸	40	65~70	5.5~6.5
仿羊皮纸	55	70~75	6.0~8.0
透明绘图纸	50	90~93	8.0~10
破布半料浆吸水纸类			
滤纸	70	24~28	1.5~2.0
铜纸原纸	70	35~40	2.0~2.5
羊皮纸原纸	57	26~32	3.0~3.5
电气绝缘纸类			
电话纸	40	50~55	7.0~8.0
0.12mm 电缆纸	100	35~40	5.5~6.5
0.12mm 浸渍绝缘纸		18~20	2.5~3.0
含磨木浆的纸类			
✓ 新闻纸	50	60~65	1.5~3
2号、3号书写纸和印刷纸	60~65	50~55	2~3.5
糊墙纸	80	45~50	2.5~3.5
烟嘴纸	100	40~45	2.5~3.5
纱管纸	160~300	35~40	2.5~3.5
亚硫酸木浆纸类			
1号书写纸和印刷纸	70	35~40	3.5~5
石印纸	120~180	32~40	3.5~4.5
胶版纸	120	32~35	3.5~4.5
凹版纸	120	40	3.5~4.5
绘画纸	130	32~35	3.5~4.5
绘图纸	160~200	35~40	4~5
照相原纸	130	35~40	4~5
打孔卡片纸	175	22~25	3~3.5
硫酸盐浆包装纸类			
薄型硫酸盐浆包装纸	40	35	5~6
袋纸	70~80	25~27	3~6
瓦楞原纸	160	18	2.5~3
破布半料浆高级纸类			
高级绘图纸	200	65~70	5~6
地图纸	90~100	40~45	4~5

续表

纸种及所用的纸浆	定量(g/m ²)	纸浆的打浆度(°SR)	横向总收缩率(%)
高级书写纸	80	50~55	4~7.5
单面光纸类			
含磨木浆和化学木浆的薄纸:			
招贴纸、票证纸、商标			
标签纸、餐巾纸等	20~25	24~28	2~2.5
包装纸	40~70		2~2.5
纸板			
粗纸板			3.4~4.5
箱纸板			4.5~5.5

表1-15-22

苏蒂网长经验公式中的常数 K

纸 种 及 有 关 说 明	K 值
印刷纸类: 破布浆和高级纸浆抄制的	14~15
中等质量纸浆抄制的	11~12
含机械木浆的	10~11
马尼拉纸: 普通长网造纸机上抄制的	12
有光泽烘缸的长网造纸机上抄制的	10
在长网造纸机抄的薄纸类:	
用快浆抄制的	10
航空信笺纸、复写纸	13~17
卷烟纸	20~23
硫酸盐浆纸袋纸	11~13
有机光的硫酸盐浆包装纸	11
耐油纸	22~23

(十)成形网宽的计算

【说明】造纸机的成形网宽,简称网宽,又称机宽。

【公式】

$$B_w = B_s + A = \frac{B_m}{1 - \epsilon} + A \quad (1-15-213)$$

$$\text{或} \quad B_w = B_s + 2(a + b + c) \quad (1-15-214)$$

式中 B_w ——网宽(mm) B_s ——湿纸幅宽(mm) A ——湿纸边及铜网的错动系数,开式引纸时 $A = 150\text{mm}$;真空引纸时 $A = 250 \sim 300\text{mm}$ B_m ——纸的抄宽(m) ϵ ——纸的总横向收缩率,见表1-15-21 a ——每侧冲边宽度(mm),在用定幅装置时, $a = 25 \sim 30\text{mm}$;在无定幅装置时, $a = 30 \sim 50\text{mm}$ b ——每侧的定幅装置在网上所占的宽度(mm),其值视定幅装置的具体结构而定

c ——在定幅装置以外,成形网每侧的富裕宽度(mm),通常对长网或夹网成形器可取 $c = 20 \sim 25\text{mm}$;对普通圆网成形器,一般情况下,因网边已被定幅带所全包,故 c 的值可取为零

【例】已知某1760长网造纸机,生产凸版纸,网案长度为8260mm,开式引纸,网的包角系数取2.22,纸的总横缩率为4%,求网的长度及宽度。

解: $L_w = Cl_w = 2.22 \times 8260 = 18350(\text{mm}) = 18.35(\text{m})$

$$B_w = \frac{B_m}{1 - \epsilon} + A = \frac{1760 + 40}{1 - 4\%} + 150 = 2025(\text{mm}) = 2.025(\text{m})$$

(十一)网速的计算

【公式】

$$V_w = V_m K_c \quad (1-15-215)$$

$$\text{或} \quad V_w = \frac{\alpha}{t} L_w \quad (1-15-216)$$

式中 V_w ——网速(m/min)

K_c ——网速对车速的滞后系数,见表1-15-2及1-15-3

V_m ——纸机车速(m/min)

α ——网部成形区段长度对网长的比值,一般为28.5~30%

t ——最短成形时间(min),在最成功的情况下,最短成形时间可达1~1.3s

L_w ——网长(m)

(十二)成形网的寿命计算

【公式】

$$t = \frac{L}{60Vt_1} \quad (1-15-217)$$

式中 t ——成形网的寿命(d)

L ——成形网的运转能力(m)

V_m ——车速(m/min)

t_1 ——日运行时间(h)

【例】已知铜网的运转能力为7000km,车速为100m/min,若每天工作22h,问铜网的寿命为多少天。

$$\text{解:} \quad t = \frac{L}{60Vt_1} = \frac{7000 \times 1000}{160 \times 100 \times 22} = 53(\text{d})$$

八、成形网张紧装置的计算

(一)气动自动紧网装置产生的理论张力计算

【说明】如图1-15-24所示,气动自动紧网装置由于受传动效率 η 的影响,使得理论上计算出来的张力要比实际紧网张力大。

【公式】

$$T = \frac{0.785Pr^2D_A}{BD_B} \quad (1-15-218)$$

式中 T ——理论张力(N/m)

P —— 气缸活塞压力(Pa)
 r —— 气缸半径(m)
 D_A —— 滑轮 A 直径(m)
 D_B —— 滑轮 B 直径(m)
 B —— 干网宽度(m)

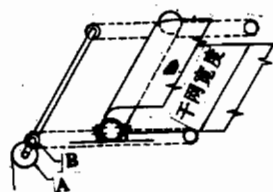


图1-15-24 气动自动紧网装置

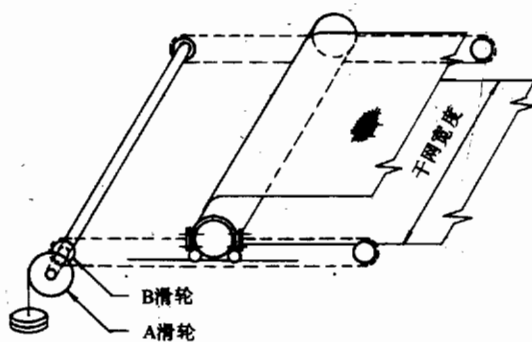


图1-15-25 复合滑轮式自动紧网装置

(二)复合滑轮式自动紧网装置理论张力的计算

【说明】 如图1-15-25所示,复合滑轮自动紧网装置是自动紧网装置的一种,由于受传动效率的影响,实际上的紧网张力常常小于理论上计算的张力。

【公式】

$$T = \frac{WgD_A}{2BD_B} \quad (1-15-219)$$

式中 T —— 理论张力(N/m)
 W —— 重锤重量(kg)
 g —— 重力加速度(9.81m/s²)
 B —— 网宽(m)
 D_A —— 滑轮 A 直径(m)
 D_B —— 滑轮 B 直径(m)

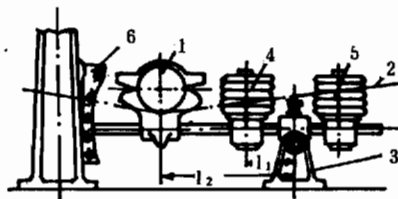


图1-15-26 衡重式张紧器

(三)重锤式张紧器的压力计算

【说明】 参见图1-15-26。

1. 张紧辊压在网上的总压力

【公式】

$$T = G + 2G_c \frac{l_1}{l_2} - 2G'_c \frac{l'_1}{l_2} \quad (1-15-220)$$

式中 T —— 张紧辊压在网上的总压力(N)
 G —— 张紧辊及其轴承壳等的总重量(N)
 G_c —— 每侧杠杆上在张紧辊一方的重锤重量(N)
 G'_c —— 每侧杠杆上在张紧辊对方的重锤重量(N)
 l_1 —— 在张紧辊一方的重锤距铰接支点的距离(m)
 l_2 —— 张紧辊中心距铰接支点的距离(m)
 l'_1 —— 在张紧辊对方的重锤距铰接支点的距离(m)

2. 总压力 T 在网上产生的线张力的计算

【公式】

$$q = \frac{T}{2B_w \sin \frac{\alpha}{2} \cos \beta} \quad (1-15-221)$$

式中 q —— 线张力(N/m)

T —— 张紧辊压在网上的总压力(N)

B_w —— 成形网宽

α —— 网在张紧辊上的包角(度)

β —— α 包角的二等分线与铅垂线(即张紧辊重力的方向)间的夹角(度)

九、网部向压榨部递纸的张力计算

【说明】 在开式引纸的长网造纸机中,湿纸页在伏辊处剥离和传递,主要是靠伏辊和一压之间有速度差,使纸页受到一定的张力,因而从伏辊处的网上剥离下来,参见图1-15-27

(一)马登(J. Mardon)计算公式

【公式】

$$T = \frac{W}{1 - \sin \theta} + mV^2 = \frac{W}{1 - \cos \theta} + mV^2 \quad (1-15-222)$$

式中 T —— 湿纸页的张力(N/m)

W —— 克服单位面积的纸幅与成形网的结合力所需的剥离功(J/m²)

m —— 单位面积纸页质量(kg/m²)

$$m = \frac{G}{C} \quad (1-15-223)$$

G —— 湿纸幅中绝干物质的重量(kg/m²)

C —— 伏辊后湿纸页的绝干干度(%)

V —— 纸页剥离速度(m/s)

Φ —— 剥离角(度)

θ —— 纸页与伏辊剥离点处伏辊法线之间的夹角(度)

$$\theta = 90 - \theta$$

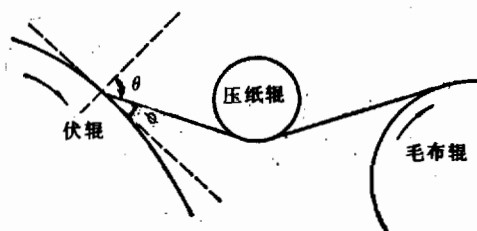


图1-15-27 开式引纸纸页传递

(二)沃斯特贝格(L. Østevberg)计算公式

【说明】 沃斯特贝格考虑到了揭纸时湿纸页的应变,将马登公式作了修正。

【公式】

$$T = \frac{W - C\epsilon}{1 - \cos \Phi} + mV^2 \quad (1-15-224)$$

式中 ϵ —— 湿纸页的伸长率(%)

其它同上

十、驱网辊动力的消耗计算

【说明】 一般情况下,长网纸机的伏辊作为网部驱动辊。

【公式】

$$N = \frac{KTe^{f_2\alpha_2}}{6118 \cdot 3B_w} \quad (1-15-225)$$

式中 T ——成形网包绕驱网辊的松边全幅张力(N), 见式1-15-176

其它见式1-15-178及式1-15-179

十一、网部辊筒的尺寸规范及强度计算

(一)案辊的计算

1. 直径的计算

【说明】案辊的直径与网宽有关

(1)当网宽 $B_w \leq 900\text{mm}$ 时

【公式】

$$D = 0.057B_w \quad (1-15-226)$$

(2)当网宽 $B_w = 4900 \sim 6400\text{mm}$ 时

【公式】

$$D = 0.13(B_w - 2750) \quad (1-15-227)$$

式中 D ——案辊直径(mm)

B_w ——网宽(mm)

2. 案辊的面宽计算

【说明】案辊的面宽与网宽有关, 其选择可参考表1-15-23及1-15-24。

【公式】

$$b = B_w + (150 \sim 250) \quad (1-15-228)$$

式中 b ——案辊的面宽(mm)

B_w ——网宽(mm)

(二)胸辊的尺寸及强度、挠度和中高计算

1. 胸辊的直径计算

表1-15-23

案辊直径尺寸范围

网宽(m/mm)	<2100	2100~2700	2700~3400	3400~3900	3900~4600
车速(m/min)	<300	<300	<500	<500	<500
案辊直径(mm)	83~115	83~143	83~228	133~242	168~298
网宽(mm)	4600~5300		5300~6100		
车速(m/min)	<250	250~500	<500		
案辊直径(mm)	192~298	217~324	260~425		

表1-15-24

案辊尺寸规范参考数据

纸机编号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
网宽(mm)		2050	2150	2300	2750	2900	3600	3600	4300	4700	6000
车速(m/min)		40	120	100	200	175	300	440	450	365	550
案辊 尺寸 (mm)	面宽	2200	2350	2500	2950	3050	3790	3750	4550	4900	6190
	直径	110	112	98	170	164	168	306	246	248	425
	轴承中心距	2400	2600	2700	3300	3400	4180	4300	4980	5120	6650
	轴径	25	25	20	25	40	40	45	45	50	65

(1)网宽为3000mm 以下时

【公式】

$$D = 0.08B_w + 275 \quad (1-15-229)$$

式中 D —— 直径(mm)

B_w —— 网宽(mm)

(2)网宽为3000—6000mm 时

【公式】

$$D = 0.107B_w + 225 \quad (1-15-230)$$

式中符号及含义同上

2. 面宽的确定

【公式】

$$b = B_w(100 \sim 200) \quad (1-15-231)$$

式中符号含义及单位同上

3. 胸辊辊体的强度计算

(1)成形网作用在辊体上的全幅张力合力的计算

【说明】 参见图1-15-28a。

【公式】

$$Q_z = 2qB_w \sin \frac{\alpha}{2} \quad (1-15-232)$$

式中 Q_z —— 全幅张力合力(N)

q —— 成形网的计算线张力值(N/m), 对于磷青铜网可取 $q = 5880\text{N/m}$ (6.0kg/cm); 对于塑料网可取 $q = 6377\text{N/m}$ (6.5kg/cm)

B_w —— 成形网宽(m)

α —— 成形网在辊筒上的包角(度)

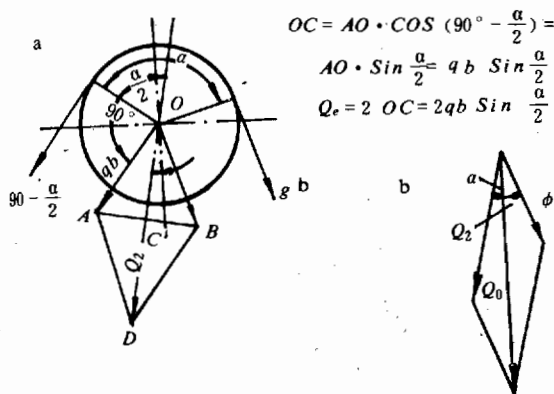


图1-15-28 胸辊辊体的受力分析

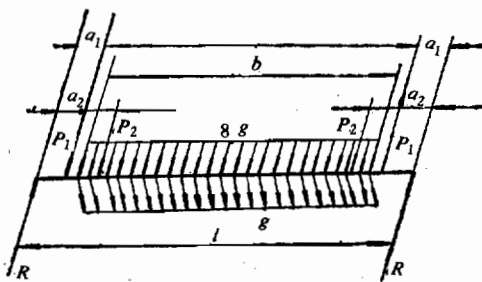


图1-15-29 普通胸辊的载荷计算图

a—成形网张力在辊体上的合力 b—以上合力与辊体重量的合力

(2)成形网全幅张力合力 Q_z 与辊体重量 G 的合力计算

【说明】 见图1-15-28b

【公式】

$$Q_0 = \sqrt{Q_z^2 + G^2 - 2Q_zG\cos\gamma} \quad (1-15-233)$$

式中 Q_0 —— Q_z 与 G 的合力(N)

G —— 辊体重力(N)

γ —— Q_z 与 G 之间的夹角(度)

(3) 胸辊中心截面上的合成弯矩计算

【说明】 参见图1-15-29

【公式】

$$M = \sqrt{M_v^2 + M_q^2 - 2M_vM_q\cos\gamma} \quad (1-15-234)$$

式中 M —— 合成弯矩(N·m)

M_v —— 铅直面内的诸载荷在辊筒中心横截面上产生的最大弯矩(N·m)

$$M_v = M_k + M_p \quad (1-15-235)$$

M_k —— 由 q_k 产生的在辊筒中心横截面上的最大弯矩(N·m)

$$M_k = \frac{q_k b}{4} \left(1 - \frac{b}{2}\right) \quad (1-15-236)$$

q_k —— 由辊体重量 G 产生的均布载荷(N/m)

b —— 辊面宽(m)

M_p —— 由 P_1 和 P_2 产生的在辊筒中心横截面上的最大弯矩(N·m)

$$M_p = P_1 a_1 + P_2 a_2 \quad (1-15-237)$$

P_1, P_2 —— 分别表示轴头重量和闷头重量(N)

a_1, a_2 —— 分别表示轴头重量 p_1 作用于辊体上相距支点的距离及闷头重量 p_2 作用于相距支点的距离(m)

M_q —— 成形网张力合力在胸辊中心截面上产生的最大弯矩(N·m)

$$M_q = \frac{q B_w}{4} \left(1 - \frac{B_w}{2}\right) \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-15-238)$$

其它符号含义及单位同上

【注意】 对于真空胸辊的鼓筒合成弯矩的计算,还应考虑真空箱吸力和流浆箱突唇喷嘴式上浆装置下浆流压力所产生的均布载荷的弯矩 M_x ,应作为第三项加入到 M_v 中。

$$M_x = \frac{q_x B_x}{4} \left(1 - \frac{B_x}{2}\right) \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-15-239)$$

式中 q_x —— 均布载荷强度(N/m)

$$q_x = \frac{\Sigma P}{B_x} \quad (1-15-240)$$

ΣP —— 每一真空室算出的压力之和(N)

B_x —— 均布载荷 q_x 作用于铅直面内均布的抽吸面宽(m)

P —— 真空箱的吸力和流浆箱突唇喷嘴式上浆装置下浆流压力(N)

$$P = pF \quad (\text{N}) \quad (1-15-241)$$

F —— 真空箱口的面积(m²)

$$F = B_x C \quad (1-15-242)$$

C —— 真空箱的真空室宽度(沿纸机纵向)(m)

p —— 真空箱吸力与浆流压力之和(Pa)

$$p = p_1 + p_2 \quad (1-15-243)$$

p_1 —— 真空室内的真空度(Pa)

p_2 —— 浆流压力(Pa)

$$p_2 = \frac{V_w^2 \gamma}{2g} \quad (1-15-244)$$

V_w —— 网速 (m/s)

γ —— 浆的重度 ($\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$)

g —— 重力加速度 (9.81 m/s^2)

(4) 胸辊在中心横截面上的截面模数计算

【公式】

$$W = 0.1 \frac{D^4 - D_1^4}{D} \quad (1-15-245)$$

式中 W —— 截面模数 (m^3)

D —— 胸辊在包胶或镀铜前的外径或真空胸辊鼓筒外径 (m)

D_1 —— 胸辊辊体钢管或鼓筒的内径 (m)

(5) 胸辊的最大弯曲应力计算

【公式】

$$\sigma_w = \frac{M}{W} \quad (1-15-246)$$

式中 σ_w —— 最大弯曲应力 (Pa)

其它同上

4. 胸辊的挠度计算

【说明】 胸辊的挠度计算同其强度计算一样, 也应按所受各作用力来考虑。

【公式】

$$f = \sqrt{f_v^2 + f_q^2 - 2f_v f_q \cos \gamma} \quad (1-15-247)$$

式中 f_v —— 铅直面上的挠度 (m)

$$f_v = f_{(g+x)} + \sum f p_i \quad (1-15-248)$$

$$f_{(g+x)} = f_g + f_x \quad (1-15-249)$$

f_g —— 由辊体重量 G 产生的均布载荷所引起的挠度 (m)

f_x —— 真空胸辊由于吸力和浆流压力造成的挠度 (m)

$\sum f p_i$ —— 轴头重量 p_1 和闷头重量 p_2 等集中载荷所产生的挠度 (m), 见式 1-15-250

f_q —— 成形网张力合力所在平面上产生的挠度 (m)

γ —— 强力合力所在平面与铅直面的夹角 (度)

$\sum f p_i$ 可用下式计算:

$$f p_i = \frac{P_i}{24E_1 I_1} \left[\alpha_1 \alpha_2 l^3 + \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_1} (3bl^2 - 3b^2l + b^3) + \alpha_1 (3\alpha_1 l^2 - l^3 - 4\alpha_1^3) + (1 - \alpha_1)(6\alpha_1 cl - 3\alpha_1 c^2) \right] \quad (1-15-250)$$

式中 $f p_i$ —— 某一集中载荷所产生的挠度 (m)

P_i —— 集中载荷, 在此为单侧轴头重量 P_1 或单侧闷头重量 P_2 (N)

$E_1 I_1$ —— 辊体在两端闷头以内的中间段的刚度 ($\text{N} \cdot \text{m}^2$)

b —— 辊面宽 (m)

l —— 辊的轴承中心距 (m)

c —— 辊体在两端闷头以内的中间段的长度(m)

α_i —— 对称的集中载荷 P_i 距两端支点的距离(m)

α_1, α_2 —— 辊筒各段刚度之比

$$\alpha_1 = \frac{E_1 I_1}{E_2 I_2} \quad (1-15-251)$$

$$\alpha_2 = \frac{E_2 I_2}{E_3 I_3} \quad (1-15-252)$$

$E_2 I_2, E_3 I_3$ —— 分别为闷头段及轴头伸出段的刚度($N \cdot m^2$)

5. 胸辊的中高计算

【说明】 因胸辊的挠曲会使喷上成形网的浆流分布不均匀而导致成形质量不良,故胸辊多有中高,就是辊筒中心横截面上的直径大于辊筒辊面两端的直径。

(1) 一般胸辊的中高计算

【公式】

$$K = D_m - D_e = 2f \quad (1-15-253)$$

式中 K —— 中高(m)

D_m —— 胸辊中心横截面上的直径(m)

D_e —— 胸辊辊体端面上的直径(m)

f —— 胸辊的总挠度(m), 见式1-15-247

(2) 中固辊中高的计算

【公式】

$$K = D_m - D_e = 2f' \quad (1-15-254)$$

式中 K, D_m, D_e —— 同上

f' —— 辊面两端相对于辊筒中心横截面的挠度(m)

$$f' = \frac{q}{384 E_2 I_2} [3b^4 - (1-d)(12b^3c - 6b^2c^2 + 4bc^3 - 3c^4) + 12b^2c^2 - 8bc^3 - 12ablc(2b-c)] \quad (1-15-255)$$

式中 q —— 由成形网全幅张力合力和辊重合成的均布载荷(N/m)

$E_2 I_2$ —— 辊筒外辊壳的刚度($N \cdot m^2$)

l —— 辊的轴承中心距(m)

b —— 辊筒受均布载荷的面宽, 即取为辊面宽度(m)

c —— 辊筒外辊壳固装在芯轴上的中固段的长度(m)

α —— 辊筒刚度比, 对于起抗挠及舒展作用的中固辊结构的胸辊, 通常在设计中取

$$\alpha = 0.3 \sim 0.35; \frac{l}{b} = 1.1 \sim 1.15; \frac{c}{b} = 0.2 \sim 0.25$$

$$\alpha = \frac{E_2 I_2}{E_1 I_1}$$

$E_1 I_1$ —— 辊筒在中固段中的刚度($N \cdot m^2$)

(三) 导网辊的计算

1. 直径的确定

【公式】

$$D = 0.047B_w + (80 \sim 120) \quad (1-15-256)$$

式中 D ——导网辊直径(mm)

B_w ——成形网宽(mm)

2. 导网辊面宽的计算

【公式】

$$b = B_w + 2c \quad (1-15-257)$$

式中 b ——面宽(mm)

c ——附加值:

当 $B_w \leq 3300$ 时, $2c = 200\text{mm}$

当 $B_w > 3300$ 时, $2c = 150\text{mm}$

(四) 整饰辊的计算

【说明】 整饰辊是一个平直正圆的空心网辊,主要有两个作用:一是赋予纸所需要的水印,即在网面上编织或焊上薄片状的图案,图案的凸起部分因排挤部分纤维而变薄,即形成透光性较高的水印,故称之为水印辊;二是改善纸的匀度,又称为整饰辊。

1. 整饰辊直径的确定

【说明】 整饰辊直径的大小与车速、定量及网宽等有关。车速越高,选用的直径应越大,否则,会在出口区产生抽吸力,从而易带起浆水或鼓泡,影响纸张的匀度。车速和直径的关系见图1-15-30;直径和网宽的关系见式1-15-258。

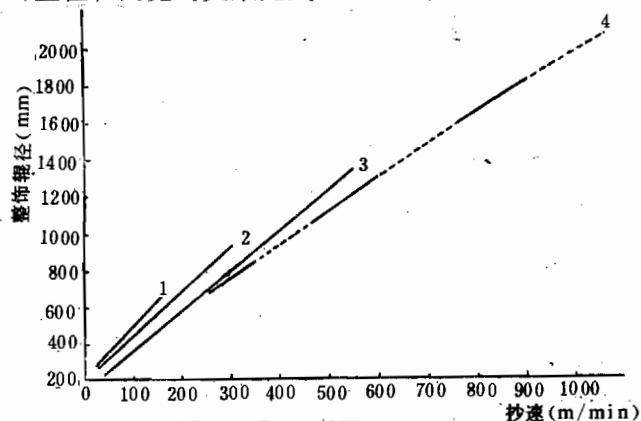


图1-15-30 整饰辊直径与车速的关系

1—需明显水印时 2—需不明显水印时 3—无水印的高级文化用纸 4—无水印的中档文化用纸及涂布原纸

【公式】

$$D = 0.055B_w + 100 \quad (1-15-258)$$

式中 D ——直径(mm)

B_w ——网宽(mm)

2. 面宽的计算

【公式】

$$b = b_B + (50 \sim 100) \quad (1-15-259)$$

式中 b ——饰面辊面宽(mm)

b_B ——胸辊面宽(mm)

(五) 普通伏辊的计算

1. 下伏辊的直径计算

【公式】

$$D_x = KB_w + 200 \quad (1-15-260)$$

式中 D_x —— 下伏辊直径(mm)

B_w —— 网宽(mm)

K —— 常数:

当 $B_w < 3000\text{mm}$ 时, $K = 0.1$

当 $B_w > 3000\text{mm}$ 时, $K = 0.11$

2. 上伏辊的直径计算

【公式】

$$D_s = D_x + (150 \sim 250) \quad (1-15-261)$$

式中 D_s —— 上伏辊直径(mm)

D_x —— 下伏辊直径(mm)

3. 下伏辊铸铁辊体壁厚计算

【公式】

$$S = (0.12 \sim 0.5)D_x \quad (\text{mm}) \quad (1-15-262)$$

4. 上伏辊辊体壁厚计算

【公式】

$$S = (0.05 \sim 0.06)D_s \quad (\text{mm}) \quad (1-15-263)$$

式中符号及含义同上

5. 伏辊轴承中心距(轨距)的计算

(1) 当网宽 $B_w < 2600\text{mm}$ 时

【公式】

$$l = 1.14B_w + 300 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-264)$$

(2) 当网宽 $B_w \geq 2600\text{mm}$ 时

【公式】

$$l = 1.03B_w + 600 \quad (\text{mm})$$

式中 l —— 长网成形器的轨距(mm)

6. 伏辊压榨的尺寸参数

【说明】 参见表1-15-25。

表1-15-25

伏辊压榨的尺寸参数

网宽 B_w (mm)	车 速 (m/min)	下伏辊		上伏辊		修面辊		刷 辊	
		直 径 (mm)							
		辊 筒	轴 颈	辊 筒	轴 颈	辊 筒	轴 颈	辊 筒	轴 颈
<1600	150	350	90	500	80	160	35	200	35
<2150	150	400	100	600	100	200	35	230	35
<2600	180	450	115	600	100	250	45	230	45
<3100	180	500	125	700	115	250	45	250	45
<3550	250	600	140	700	125	300	55	260	45
<4150	250	650	160	700	125	350	65	260	45

7. 上伏辊的强度计算

【说明】 参见第二篇第三章第八节内容: 辊筒的强度计算。

8. 下伏辊的强度计算

【说明】 可参考本章第三节“压榨辊的强度计算”

【公式】

$$\sigma_w = \frac{M}{W} \quad (1-15-265)$$

式中 σ_w —— 下伏辊的最大弯曲应力(Pa)

W —— 伏辊中心横截面的截面模数(m³)

$$W = 0.1 \frac{D^4 - D_1^4}{D} \quad (1-15-266)$$

D, D_1 —— 下伏辊的外径和内径(m)

M —— 合成弯矩(N·m)

$$M = \sqrt{M_1^2 + 0.75M_2^2} \quad (1-15-267)$$

M_1 —— 下伏辊在均布载荷 $\frac{R_H}{b}$ 的作用下在辊体中心横截面上的最大弯矩(N·m)

$$M_1 = \frac{R_H}{4} \left(1 - \frac{b}{2}\right) \quad (1-15-268)$$

R_H —— 下伏辊在运行条件下所受到的总均布载荷(N)

b —— 辊面宽(m)

M_2 —— 下伏辊所受的扭矩(N·m)

$$M_2 = \frac{306000D_r \cdot N}{V_w} \quad (1-15-269)$$

D_r —— 下伏辊直径(m)

N —— 长网成形器的最大计算传动功率(kW)

V_w —— 成形网速度(m/min)

(六) 真空伏辊的计算

1. 上伏辊的面宽计算

【公式】

$$b = B_w + (40 \sim 50) \quad (1-15-270)$$

式中 b —— 面宽(mm)

B_w —— 成形网宽(mm)

2. 下伏辊(真空伏辊)直径计算

【公式】

$$D = 0.07B_w + 450 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-271)$$

3. 真空伏辊的面宽计算

【公式】

$$b = B_w + (190 \sim 225) \quad (\text{mm}) \quad (1-15-272)$$

4. 真空伏辊辊面钻孔段幅宽计算

【公式】

$$b_r = B_w + (0 \sim 50) \quad (\text{mm}) \quad (1-15-273)$$

式中符号及含义同上

第三节 压榨部的工艺计算

一、压榨的理论计算

(一) 压榨所需时间的计算

【说明】 压榨所需时间与压辊变形宽度成正比,与车速成反比。

1. 普通压榨的脱水时间计算

【说明】 在普通压榨的压区宽度中,只有前一半真正起脱水作用,故讨论压榨脱水时间时,也只考虑 $\frac{C}{2}$ 。

【公式】

$$t = \frac{C}{2V} \quad (1-15-274)$$

式中 t —— 压榨时间(min)

C —— 压辊变形宽度(m)

V —— 车速(m/min)

2. 真空压榨的脱水时间计算

【说明】 对真空压榨,如上压辊位于真空下辊的真空区终点上,则计算真空压榨的脱水时间用下式计算。

【公式】 $t = \frac{C}{V}$ (1-15-275)

式中符号含义及单位同前

(二) 压榨脱水量的计算

【公式】

$$W = \frac{0.08KP_{\max}b}{\rho hv} \quad (1-15-276)$$

式中 W —— 压辊脱水量(cm),表示底面积等于1,被自纸幅中压出的水所充满的平行六面体的高;或通过压区所用时间内的沉积层。

K —— 过滤系数(cm/s)

P_{\max} —— 最大压力(kg/cm²)

b —— 压区宽度之半(mm)

ρ —— 水的密度,取 10^{-3}kg/cm^3

h —— 毛毯厚度(cm)

V —— 纸机车速(m/min)

(三) 双毯压榨的流速计算

【公式】

$$V = \frac{Pd^2g}{32L\mu} \quad (1-15-277)$$

式中 V —— 在压榨压区从纸中压出贯穿纸层流出水的流速(cm/s)

g —— 重力加速度(cm/s²)

p —— 湿纸毛细管内压力损失 (g/cm^2)

d —— 湿纸毛细管直径 (cm)

μ —— 白水粘度 [$\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$]

L —— 纸页厚度 (cm)

【说明】 此式又称为 Poiseultd 法则公式

(四) 双毯压榨的流量计算

【公式】

$$Q = \frac{Pd^2g}{32L\mu} \cdot t \cdot A \quad (1-15-278)$$

式中 Q —— 双毯压榨流量 (cm^3/s)

t —— 时间 (s)

A —— 毛细管总面积 (cm^2)

其它同上式

(五) 压榨纸页的最终水分计算

【说明】 纸的最终水分是指纸页经压榨后发生再湿——即纸幅在出压区中心后水分的回升——后的水分。一般来说,发生再湿后,纸中水分的增加与纸的定量成反比。

【公式】

$$m = n + a \frac{S}{\omega} \quad (1-15-279)$$

式中 m —— 纸的最终水分

n —— 纸在加压结束时达到的最低水分

a —— 再吸系数,当纸的两面均有毛毯时, a 值增大但不等于两条毛毯分别地与纸相接触时两个 a 值之和;当纸和毛毯的毛细管结构差异最大时 a 值也最大

s —— 表面积

ω —— 纸的定量

二、压榨的压力计算

(一) 杠杆重锤式加压装置产生的附加压力计算

【说明】 参见图 1-15-31。

1. 不计杠杆自重和铰链的摩擦损失时产生的附加压力计算

【公式】

$$P_0 = G \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} \quad (1-15-280)$$

式中 P_0 —— 附加压力 (N)

G —— 两边重锤重量之和 (N)

a, b, c, d, e, f —— 各杆杆的臂长 (cm)

2. 计杠杆自重和铰链摩擦损失时的附加压力计算

【公式】

$$P = P_0' + P_1 + P_2 - P_3 \quad (1-15-281)$$

式中 P —— 附加压力 (N)

P_o' —— 重锤产生的有效附加压力(N)

$$P_o' = P_o \eta_1 \eta_2 \eta_3 = G \frac{ace}{bdf} \eta_1 \eta_2 \eta_3 = G \frac{ace}{bdf} \eta^3 \quad (1-15-282)$$

η_1, η_2, η_3 —— 第 1、2、3 道杆杆除去摩擦损失而得的有效系数,通常取 $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = \eta$ 。在润滑良好的情况下, $\eta = 0.95 \sim 0.97$; 而润滑不良时, η 在 0.8 以下

P_1 —— 杠杆 1 自重产生的有效附加压力(N)

$$P_1 = G_1 \frac{a}{2b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} \eta^3 \quad (1-15-283)$$

G_1 —— 两侧第一道杠杆自重的总和(N)

P_2 —— 杠杆 2 自重产生的有效附加压力(N)

$$P_2 = G_2 \frac{c-d}{2d} \cdot \frac{e}{f} \eta^2 \quad (1-15-284)$$

G_2 —— 第二道杠杆的自重(N)

P_3 —— 杠杆 3 自重产生的有效附加压力(N)

$$P_3 = G_3 \frac{e-f}{f} \eta \quad (1-15-285)$$

G_3 —— 第 3 道杠杆的自重(N)

其它同式 1-15-280

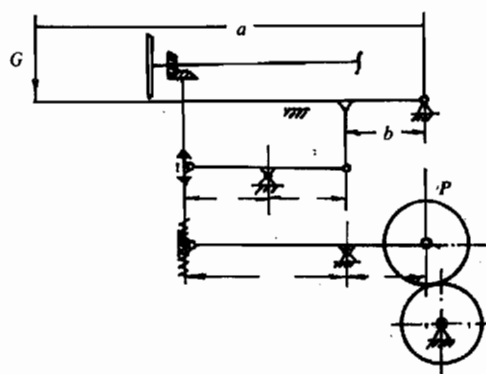
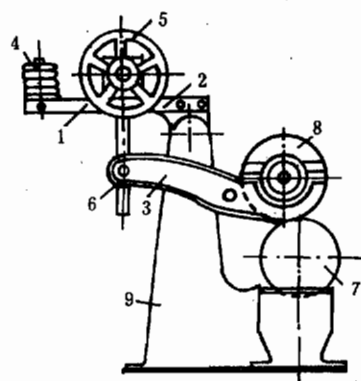


图 1-15-31 杠杆重锤加压提升机构

1—加压机构的第一杠杆 2—第二杠杆 3—第三杠杆 4—重锤

5—上辊提升手轮 6—螺杆 7—压榨下辊 8—压榨上辊 9—压榨机架

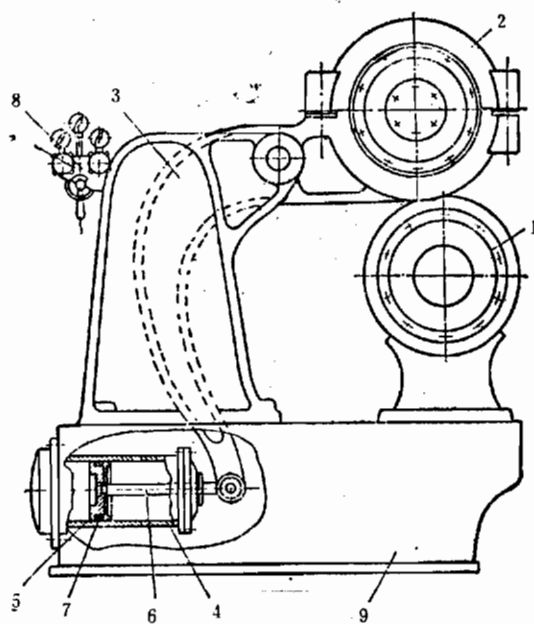


图 1-15-32 活塞式气动加压及提升装置

1—压榨下辊 2—压榨上辊 3—杠杆 4—气缸 5—活塞
6—活塞杆 7—密封 8—气动压力调节器 9—机架

(二) 气动加压提升装置的附加压力计算

【说明】 参见图 1-15-32

【公式】

$$P = 2p \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{a}{b} \eta_1 \eta_2 \quad (1-15-286)$$

式中 P —— 附加压力(N)

p —— 工作表压(Pa)

d —— 加压气缸内径(m)

a —— 加压气缸 4 的连杆与支臂 3 的连接点至上压辊与支臂 3 的连接点间的距离(m)

b —— 上压辊垂直中心线至上压辊与支臂 3 的连接点间的距离(m)

η_1 —— 考虑到各铰接点等处的摩擦损失而取的有效系数,一般可取 0.8~0.9

η_2 —— 气缸工作效率,一般为 0.9~0.95

(三) 液压缸式加压提升机构的附加压力计算

【说明】 采用液(油、水)压缸作为加压抬辊机构可以用 50~100 个大气压压力的液压,从而在要求压区线压很高的场合也只需尺寸不大的液压缸。但是液体实际上是不可压缩的,在加压提升机构中如仍采用与前述的气压缸结构相同的普通液压缸,就不能满足加压时具有弹性的基本要求,为此,往往采用液压-气压双作用缸来达到上述要求。如图 1-15-33 所示,膜片腔中的气压 P_A 与加压油腔中的液压 P_r 之间的关系见式 1-15-287

【公式】

$$P_A = \frac{\pi}{0.8} \left(\frac{d_1}{D+d} \right)^2 P_r \quad (1-15-287)$$

式中 P_A —— 膜片腔中的气压(Pa)

P_r —— 加压油腔中的液压(Pa)

d_1 —— 副活塞直径(m)

D —— 橡胶膜片的工作直径(m)

d —— 顶盘直径(m)

(四) 膜式气动加压提升机构附加压力的计算

【说明】 膜式气动加压装置具有结构简单,没有滑动密封件,机械效率高,惯性小,柔性好等优点,故被广泛采用。其缺点是不能传递过大的压力,使用的压缩空气压力一般不超过 500~600kPa(5~6kgf/cm²)。橡胶膜片传递的压力有下列两种计算方法。式 1-15-289 为近似计算公式。

【公式】

$$P = \frac{\pi}{12} (D^2 + Dd + d^2) p \quad (1-15-288)$$

$$\text{或} \quad P = 0.2 (D + d)^2 p \quad (1-15-289)$$

式中 P —— 橡胶膜片传递的压力(N)

p —— 压缩空气表压(Pa)

D —— 膜片工作直径(m)

d —— 顶盘直径(m)

(五)螺旋加压的压力计算

【说明】 螺杆加压是利用螺旋这一简单机械,以求以较小的力量得到最大的挤压力。然而在生产中用螺杆直接加压的情况是较少的,一般都要求有一个缓冲的余地,故多采用螺杆和弹簧相结合的加压装置,即使在施压过程中遇到一些过大的物料,也可藉弹簧的伸缩而安全越过,不致对设备产生任何损坏。螺旋加压常用于打包机械,纸机压榨部较少采用。参考图 1-15-34。

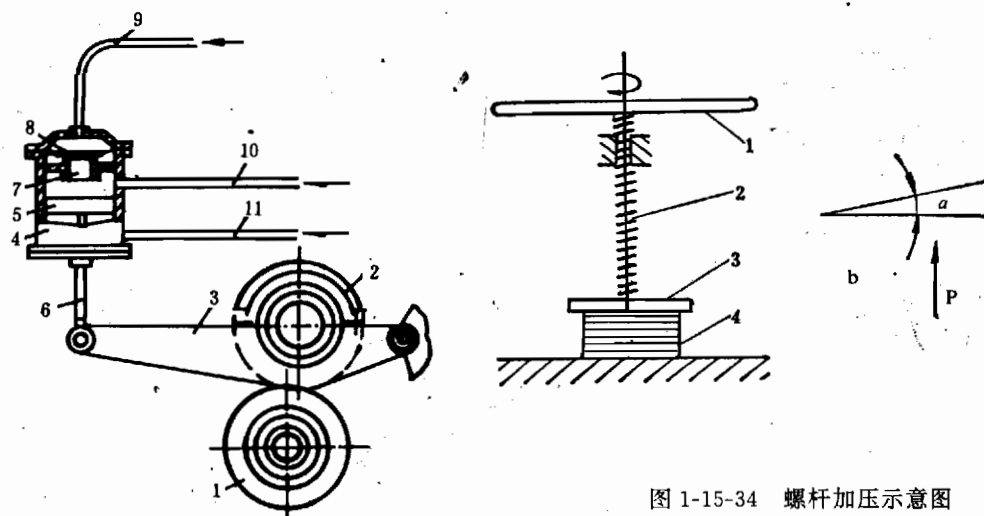


图 1-15-34 螺杆加压示意图

1—手轮 2—螺杆 3—压板 4—打包机底板

图 1-15-33 液压—气压双作用缸加压提升机构

1—压榨下辊 2—压榨上辊 3—上辊轴承臂 4—液压—气压双作用缸
5—工作活塞 6—工作活塞的活塞杆 7—副活塞 8—膜片
9—压缩空气管 10—加压时供油管 11—抬辊时供油管

【公式】

$$P = T \frac{D}{d} \frac{1}{\operatorname{tg}(\gamma + \lambda)} \quad (1-15-290)$$

式中 P —— 螺旋加压的力(N)

T —— 旋转手轮的力(N)

D —— 手轮的直径(m)

d —— 螺旋的直径(m)

γ —— 螺杆与螺母间的摩擦角(度)

λ —— 螺旋的升角(度)

(六)压区宽度的计算

【说明】 压区宽度取决于外加压力、辊面材质的机械特性(硬度、纵向弹性模数、泊松系数等)、辊径和辊间物质的压缩变形特性(主要指毛毯),它又决定了在外加压力下的压区平均压力 P ,而 P 正是决定湿压榨脱水效率的主要因素。压区宽度有下列几种计算方法。

1. 一般算法

【公式】

$$C = 1.6 \sqrt{\frac{qD_1D_2}{D_1 + D_2} \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)} \quad (1-15-291)$$

式中 C —— 压区宽度(m)

q —— 辊间线压(N/m)

D_1, D_2 —— 相应地为两个压辊直径(m)

E_1, E_2 —— 辊体或辊面层(包胶层)的纵向弹性模数(Pa)

μ_1, μ_2 —— 辊体或辊面层的泊松系数,对于胶层可取 $\mu = 0.5$

2. 当一个辊筒有包胶层时压区宽度计算

【公式】

$$C = 1.39 \sqrt{\frac{qD_1D_2}{(D_1 + D_2)E_1}} \quad (1-15-292)$$

式中符号含义及单位同前

3. 李达尔(L. Rydar)的用计算机计算压区宽度公式

【公式】

$$C = \left(\frac{5.8 \times 10^{-6} g \delta D_1 D_2 H^{1.35}}{D_1 + D_2} \right)^{0.81 D_1^{-0.232}} \quad (1-15-293)$$

式中 C —— 压区宽度(in)

q —— 辊所受的负荷(lb/in),即外加线压力

δ —— 胶层工作厚度(in)

D_1 —— 包胶压辊的直径(in)

D_2 —— 与包胶辊相接的硬辊直径(in)

H —— 胶层硬度,以 1/8in 直径的球测出的普氏硬度(P&J)

【附表】 压榨辊的特征及压区宽度等参数见表 1-15-26

表 1-15-26 压榨辊的特征和压区宽度(线压 300lb/in)

压榨辊直径(in)	胶层硬度 P&J	压辊型式	压区宽度(in)	压区平均压力(lb/in ²)
34	32	真空		
32	35	普通	2	150
33.5	8	沟纹		
32	35	普通	1.5	200
34	32	真空		
36		花岗石	1.6	190
33.5	8	沟纹	0.75	400
36		花岗石		

注:①1lb/in=175.187N/m ②1lb/in²=6897.11Pa

(七)压区平均压力的计算

【说明】 压区平均压力是决定湿压榨脱水效率的主要因素。

【公式】

$$P = \frac{q}{c} \quad (1-15-294)$$

$$\text{或} \quad P = 0.625 \sqrt{\frac{q(D_1 + D_2)}{D_1 D_2 \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (1-15-295)$$

$$\text{或 } P = 0.72 \sqrt{\frac{q(D_1 + D_2)E_1}{D_1 D_2}} \quad (1-15-296)$$

式中 P ——压区的平均压力(Pa)

q ——辊间线压力(N/m)

c ——压区宽度(m)

其它同式 1-15-291

【注意】 式 1-15-296 适用于一个辊筒有包胶层时的压力计算。

(八)压区最大压力的计算

【说明】 在变形面积宽度中央部分的最大比压可作如下计算。

$$\text{【公式】 } P_{\text{最大}} = \frac{4}{\pi} P \quad (1-15-297)$$

$$\text{或 } P_{\text{最大}} = 0.796 \sqrt{\frac{q(D_1 + D_2)}{D_1 D_2 \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (1-15-298)$$

$$\text{或 } P_{\text{最大}} = 0.92 \sqrt{\frac{q(D_1 + D_2)E_1}{D_1 D_2}} \quad (1-15-299)$$

式中 $P_{\text{最大}}$ ——最大压力(Pa)

其它符号含义及单位同上

【注意】 式 1-15-299 适用于当一个辊筒有包胶层时的最大压区压力计算。

(九)压榨的线压力与偏心距的关系计算

【说明】 双辊压榨的安装形式有两种(如图 1-15-35 和图 1-15-36),其结构见示意图 1-15-37,受力分析如图 1-15-38。不同的压榨装置,其线压力与偏心距的变化关系是不同的,故“只要偏心距加大,辊间线压力就减少”的说法是错误的。

1. 杠杆系统施加给压辊的压力(方向垂直向下) F 的计算

【说明】 由图 1-15-36 和图 1-15-37,根据力矩平衡作用原理计算 F 如下。

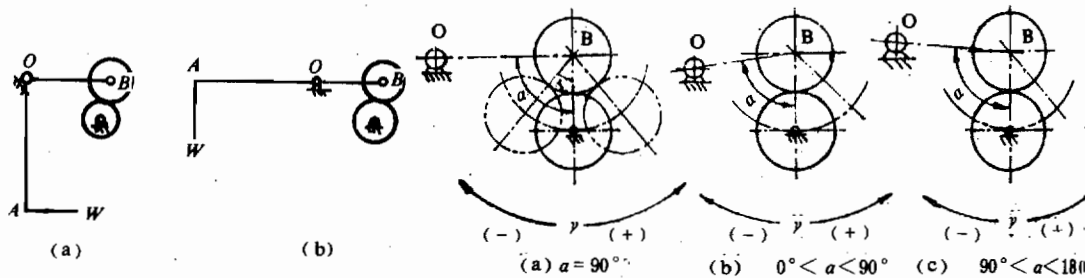


图 1-15-35 双辊压榨装置

图 1-15-36 双辊压榨安装形式

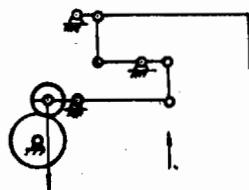


图 1-15-37 双辊压榨杠杆作用原理

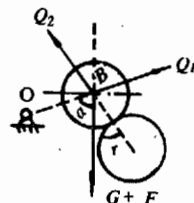


图 1-15-38 双辊压榨受力分析

【公式】

$$F = \frac{\overline{AO}}{\overline{OB}} W \quad (1-15-300)$$

式中 F —— 杆杆系统施加给压辊的压力(N)

\overline{AO} —— 末级杠杆支点前的长度(m)

\overline{OB} —— 末级杠杆支点后的长度(m)

W —— 杠杆加压系统工作时产生的作用在末级杠杆上 A 点的作用力

【讨论】 由上式可知,只要杠杆系统确定, F 就为一常量。

2. 辊间线压力与偏心距的关系计算

【说明】 偏转角 γ 的改变引起并决定偏心距的大小,为此,在计算中,偏心距可用偏转角 γ 表示。 $|\gamma|$ 增大,偏心距亦增大;反之, $|\gamma|$ 减少使得偏心距减少。

【公式】

$$q = (G + F) \frac{\sin \alpha}{b \sin(\alpha + \gamma)} (-\alpha < \gamma < 90^\circ) \quad (1-15-301)$$

式中 q —— 辊间线压力(N/m)

G —— 由上压辊及其轴承和轴承座产生的重力(N)

F —— 同上

b —— 压辊工作面宽度(m)

α —— 末级杠杆上 OB 与铅垂线的夹角(度)

γ —— 两压辊的中心联线与铅垂线的夹角(偏转角)(度),下压辊偏向杠杆 OB 一侧时为负值;偏向另一侧时为正值

【讨论】 ①只要杠杆系统确定, F 为一常量,压榨装置确定后 G 和 b 不变,因此设:

$$K = \frac{G + F}{b}, \text{则:}$$

$$q = K \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \gamma)} (-\alpha < \gamma < 90^\circ) \quad (1-15-302)$$

② α 的变化有三种形式(见图 1-15-36),同样, γ 的变化也有三种情况,即 $\gamma = 0^\circ$ 、 $\gamma > 0^\circ$ 和 $\gamma < 0^\circ$ 。

③不论 α 如何变化,只要 $\alpha + \gamma = 90^\circ$,线压力 q 就取得该压榨型式下的是小值;不论 α 如何变化,只要当 $\gamma = 0^\circ$,也就是压榨装置无偏心距时,线压力 q 都等于 K 。

④若令偏心距的变化为 n ,且:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \gamma)} (-\alpha < \gamma < 90^\circ) \quad (1-15-303)$$

则线压力与偏心距的变化 n 的关系见表 1-15-27。

表 1-15-27

线压力 q 与偏转角 γ 的关系

$\frac{n}{\alpha}$	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
90°	1.3054	1.2208	1.1547	1.1034	1.0642	1.0353	1.0154	1.0038	1	1.0038	1.0154	1.0353	1.0642	1.1034	1.1547	1.2208	1.3054
75°	1.6840	1.5027	1.3660	1.2609	1.1791	1.1154	1.0658	1.0279	1	0.9808	0.9696	0.9659	0.9696	0.9808	1	1.0279	1.0658
105°	1.0658	1.0279	1	0.9808	0.9696	0.9659	0.9696	0.9808	1	1.0279	1.0658	1.1154	1.1791	1.2609	1.3660	1.5027	1.6840

(十)压榨线压工艺参数

1. 不同纸种的压榨线压

【说明】表 1-15-28 列出了不同纸种的压榨线压数据,其中对于新闻纸和印刷纸等的的数据可认为是在造纸机车速不超过 300~400m/min 的数据。

2. 纸机各道压榨的线压

【说明】表 1-15-29 给出了考虑到压榨型式或功能结构不同而可采用的线压数据。这些数据的使用条件为车速不高于 400~500m/min 及生产一般纸种。另外,当使用新型的高效脱水的压榨如沟纹压榨、网毯压榨、双毛毯压榨等时,在相同的车速条件下线压可稍高些。

3. 表 1-15-30 列出了在中、低速造纸机设计中的参考数据。

表 1-15-28 不同纸种时的压榨线压(kg/cm)

纸 种	压 榨 位 置			
	第一道	第二道	第三道	第四道
仿羊皮纸	8	15	18	19
耐油纸	8	15	18	20
图片印刷纸	12	16.5	21.5	22
2 号及 3 号凸版印刷纸及书写纸	12	16~18	22~25	—
新闻纸	16~20	20~25	25~30	—
单面光纸	60	80(托辊)	100(托辊)	—

表 1-15-29 造纸机各道压榨的线压(kg/cm)

压榨辊的型式或 功能结构	压 榨 位 置				
	第一道	第二道	第三道	第四道	托 辊
普通压榨	20~25	25~30	35~40	—	70~80
真空压榨	15~20	20~30(达 60)	同上(达 70)	—	50~60(达 80)
平滑压榨	—	—	—	10~15	—

表 1-15-30 压榨线压设计参考数据(kg/cm)

纸机或压榨类别	设计线压	纸机或压榨类别	设计线压
造纸机	35	自接纸造纸机的湿压榨	50~80
纸板机	50	湿抄机的高压压榨	80~150
平滑压榨	25	自接纸造纸机的托辊	80~100

注:1kg/cm=981N/m

三、压榨辊的尺寸规范计算

(一)压榨辊的直径的确定计算

【说明】下面是几个适用于中、低速造纸机上双辊普通压榨的辊径计算公式。

1. 当设计线压为 34300N/m(35kg/cm)时

(1)下压辊直径 D_x

【公式】

$$D_x = 0.115B_w + 180 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-304)$$

(2)上压辊直径 D_s

【公式】

$$D_s = 0.08B_w + 300 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-305)$$

式中 B_w ——成形网宽(mm)

2. 当设计线压为 49000N/m(50kg/cm)时

【公式】

$$D_x = 0.115B_w + 250 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-306)$$

$$D_s = 0.08B_w + 350 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-307)$$

式中 D_x, D_s ——分别表示下辊和上辊直径(mm)

3. 当设计线压为 78400N/m(80kg/cm)时

【公式】

$$D_x = 0.145B_w + 200 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-308)$$

$$D_s = 0.110B_w + 300 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-309)$$

式中符号含义及单位同上

(二) 压榨辊面宽的确定计算

1. 普通压榨辊的面宽计算

(1) 包胶软辊面宽的计算

【公式】

$$B_{y1} = B_w \quad (\text{mm}) \quad (1-15-310)$$

式中 B_{y1} ——包胶软辊的面宽(mm)

B_w ——网宽(mm)

(2) 裸硬辊面宽的确定计算

【公式】

$$B_{y2} = B_{y1} + 50 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-311)$$

$$\text{或 } B_{y2} = B_w + 50 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-312)$$

式中 B_{y2} ——裸硬辊面宽(mm)

其它同上

2. 真空压榨辊面宽的确定计算

(1) 真空压榨辊面开孔段最大有效幅宽 b_{x1} 的计算

【公式】

$$b_{x1} = B_s + 50 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-313)$$

$$\text{或 } b_{x1} = B_w - 100 \quad (\text{mm}) \quad (1-15-314)$$

式中 b_{x1} ——辊面开孔段最大有效幅宽(mm)

B_s ——湿纸幅宽(mm)

$$B_s = \frac{B_m}{1 - \varepsilon}$$

B_m ——纸的抄宽(mm)

ε ——纸的总横缩率(%)

(2) 真空压辊面开孔段幅宽 b_{x2} 计算

【公式】

$$b_{x2} \approx B_w \quad (1-15-315)$$

(3) 真空压榨辊的辊面宽度 B_{y2}

【公式】

$$B_{y_2} = b_{x_1} + (300 \sim 350) \quad (\text{mm}) \quad (1-15-316)$$

$$\text{或 } B_{y_2} = B_w + (200 \sim 250) \quad (\text{mm}) \quad (1-15-317)$$

式中符号含义及单位均同前

四、压榨辊的强度及挠度计算

(一) 辊筒的相对挠曲率的计算

【说明】 辊面部分的最大挠度与辊面宽度的比值称为辊筒的相对挠曲率。造纸机下压榨辊的挠曲率一般为 $\frac{1}{6000} \sim \frac{1}{7000}$ ；上压榨辊的挠曲率为 $\frac{1}{12000} \sim \frac{1}{14000}$ 。

【公式】

$$f = \frac{f_b}{b} \quad (1-15-318)$$

式中 f —— 挠曲率(%)

f_b —— 辊面部分的最大挠度(mm)

b —— 辊面宽度(mm)

(二) 普通压榨辊的强度及挠度计算

【说明】 普通压榨辊的强度计算可按以下方法及步骤并参考第二篇第三章中：“辊筒的强度计算”进行。参见图 1-15-39。

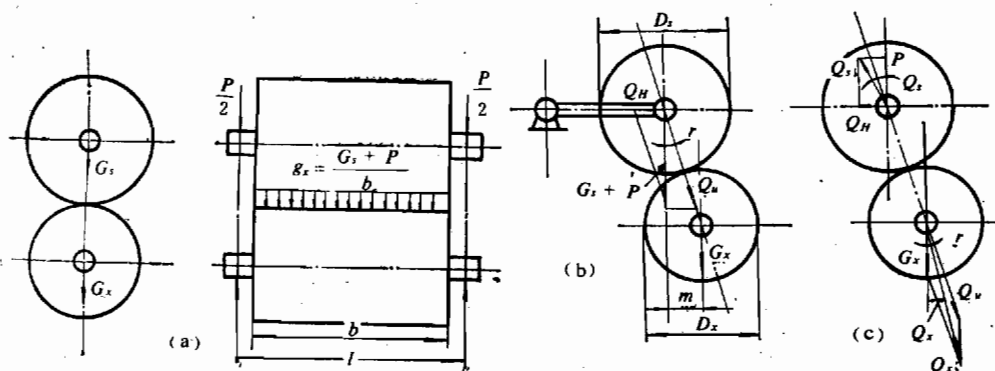


图 1-15-39 双辊压榨中压榨辊的载荷图

(a) 上下辊轴线位于同一个铅直平面 (b) 上下辊轴线有偏心距 m 时 (c) 上下辊轴承上的总载荷

1. 上下辊轴线位于同一个铅直平面时的强度计算

【说明】 见图 1-15-39(a)

(1) 两辊间的线压力 q 的计算

【公式】

$$q = \frac{G_s + P}{b} \quad (\text{N/m}) \quad (1-15-319)$$

式中 G_s —— 压榨上辊及其轴承、轴承座的重量(N)

P —— 两侧附加压力之和(N)

b —— 辊面宽度(m), 假设上下辊间的实际压区全长与辊面宽度相等

(2) 上辊的均布载荷 q_s 的计算

【公式】

$$q_s = \frac{P}{b} \quad (\text{N/m}) \quad (1-15-320)$$

式中符号及含义同上

(3) 下辊的均布载荷 q_x 的计算

【公式】

$$q_x = q + \frac{G_x}{b} \quad (\text{N/m}) \quad (1-15-321)$$

式中 G_x —— 下辊自重(N)

其它同上

(4) 上辊中心横截面上的最大弯矩 M_1

【公式】

$$M_1 = \frac{q_x l b}{4} - \frac{q_x b^2}{8} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-15-322)$$

式中 l —— 压辊轴承中心距(m)

其它同上

(5) 下辊中心横截面上的最大弯矩 M_1'

【公式】

$$M_1' = \frac{q_x l b}{4} - \frac{q_x b^2}{8} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-15-323)$$

式中符号及含义同前

(6) 下辊因传动动力所受的扭矩 M_2

【公式】

$$M_2 = \frac{30019 D_x N}{V} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-15-324)$$

$$\text{或 } M_2 = \frac{306000 D_x N}{V} \quad (\text{kg} \cdot \text{cm})$$

式中 D_x —— 下压辊直径(m)

N —— 压榨部分传动的需用功率(kW), 见“造纸机的传动功率计算”

V —— 车速(m/min)

(7) 下压榨辊的合成弯矩 M

【公式】

$$M = \sqrt{M_1'^2 + 0.75 M_2^2} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-15-325)$$

式中符号及含义同上

(8) 上、下压辊中心横截面的惯性矩 I 的计算

【公式】

$$I = 0.05 (D^4 - D_1^4) \quad (\text{m}^4) \quad (1-15-326)$$

式中 D —— 上(或下)压辊辊壳的外径(m)

D_1 —— 上(或下)压辊辊壳的内径(m)

(9) 上、下压辊中心横截面的截面模数的计算

【公式】

$$W \approx 0.1 \frac{D^4 - D_1^4}{D} \quad (\text{m}^3) \quad (1-15-327)$$

式中符号及含义同上

(10)上压辊的弯曲应力 $[\sigma_w]$

【公式】

$$[\sigma_w] = \frac{M_1}{W} \quad (\text{Pa}) \quad (1-15-328)$$

式中符号及含义同上

(11)下压辊的应力 $[\sigma_w]$

【公式】

$$[\sigma_w] = \frac{M}{W} \quad (\text{Pa}) \quad (1-15-329)$$

式中符号及含义同上

2. 上下辊轴线有偏心距时的强度计算

【说明】 见图 1-15-39(b)

(1)上压辊的均布载荷 q_1

【公式】

$$q_1 = \frac{P}{b \cos \gamma} \quad (\text{N/m}) \quad (1-15-330)$$

式中 P ——施加于上辊轴承的附加压力(N)

b ——辊面宽度(m)

γ ——辊筒连心线与铅直线的夹角(度)

(2)下压辊的均布载荷 q_2

【公式】

$$q_2 = \frac{1}{b} \sqrt{G_x^2 + Q_n^2 + 2G_x Q_n \cos \varphi} \quad (1-15-331)$$

式中 G_x ——上辊重量(N)

Q_n ——上下辊中心连线方向上的重量(N)

其它同前

(3)辊筒连心线与铅直线的夹角 γ

【公式】

$$\gamma = \arcsin \frac{2m}{D_s + D_x} \quad (1-15-332)$$

式中 m ——偏心距(m)

D_s ——上辊辊径(m)

D_x ——下辊辊径(m)

(4)上下压辊的强度计算

【说明】 先按前述垂直压榨中的计算步骤和方法求出上下压辊的弯矩 M (下压辊计算扭矩)、惯性矩 I 及截面模数 W ,再求出弯曲应力 $[\sigma_w]$

3. 上辊轴承臂处于非水平位置时的上下压辊的强度计算

【说明】 当上辊轴承臂在工作状态下并非处于水平的位置(此为常见情况)时,双辊压榨的压榨辊受力情况将发生变化,参见图 1-15-40。

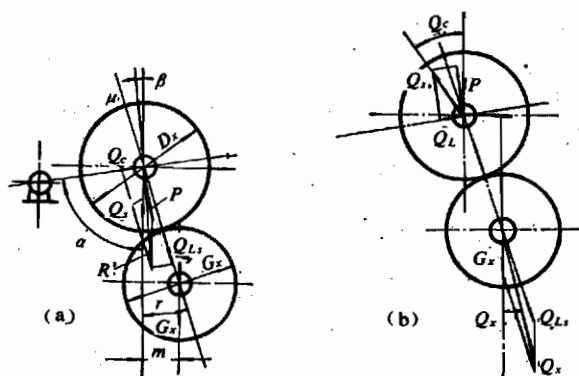


图 1-15-40 双辊非水平压榨的载荷分析

(a) 压辊受力分析 (b) 上下辊轴承的总载荷

(1) 两辊间的线压力 q

【公式】

$$q = \frac{Q_n}{b} = \frac{G_s[\cos\gamma + \cos(90^\circ - \gamma)\operatorname{tg}(\alpha + \gamma - 90^\circ)] + P[\cos(\alpha + \gamma - 90^\circ) + \frac{\sin(\alpha + \gamma - 90^\circ)}{\cos(\alpha + \gamma - 90^\circ)}]}{b} \quad (\text{N/m}) \quad (1-15-333)$$

式中 Q_n —— 上下辊连心线方向的载荷重(N)

G_s —— 上辊重量(N)

α —— 上辊轴承臂在工作状态下与铅直平面的夹角(度)

γ —— 辊筒连心线与铅直线的夹角(度)

P —— 附加压力(N)

其它同前

(2) 上辊均布载荷强度 q_s 的计算

【公式】

$$q_s = \frac{P}{b} [\cos(\alpha + \gamma - 90^\circ) + \frac{\sin^2(\alpha + \gamma - 90^\circ)}{\cos(\alpha + \gamma - 90^\circ)}] \quad (\text{N/m}) \quad (1-15-334)$$

式中符号及含义同前

(3) 下辊轴承的径向总载荷均布强度 q_x

【公式】

$$q_x = \frac{Q_x}{b} + \frac{1}{b} \sqrt{G_x^2 + Q_s^2 + 2G_x Q_s \cos\gamma} \quad (\text{N/m}) \quad (1-15-335)$$

式中 Q_n —— 见式 1-15-332

其它同上

(4) 上下压辊的强度计算

【说明】 先按照前述第一种垂直压榨的计算步骤和方法求出上下辊的弯矩 M (下压辊计算扭矩)、惯性矩 I 及截面模数 W , 再求出弯曲应力 $[\sigma_w]$

4. 普通压榨辊的挠度计算

【说明】 普通压榨辊挠度由两部分组成: 一部分是由弯矩产生的挠度; 另一部分为由剪力产生的挠度。有时是二者共同作用, 有时后者可以忽略。

(1) 由弯矩产生的挠度计算

【说明】 由弯矩产生的挠度是压榨辊挠度产生的主要原因,其计算方法有两种,一种为理论计算法,二是列线图法,后者较简单。

① 理论计算法

【说明】 可参考第二篇第三章“辊筒的强度计算”。

【公式】
$$f_b = \frac{qb^3}{384E_1I_1}(12l - 7b)$$

式中 f_b —— 由弯矩产生的挠度(m 或 cm)

l —— 压辊轴承中心间的距离(m 或 cm)

E_1I_1 —— 压辊在两端闷头以内的中间段长度内的刚度(N·m² 或 kg·cm²)

E_1 —— 压辊的弹性模数(N/m² 或 kg/cm²)

I_1 —— 压辊在中部截面上的惯性矩(m⁴ 或 cm⁴)

② 列线图法

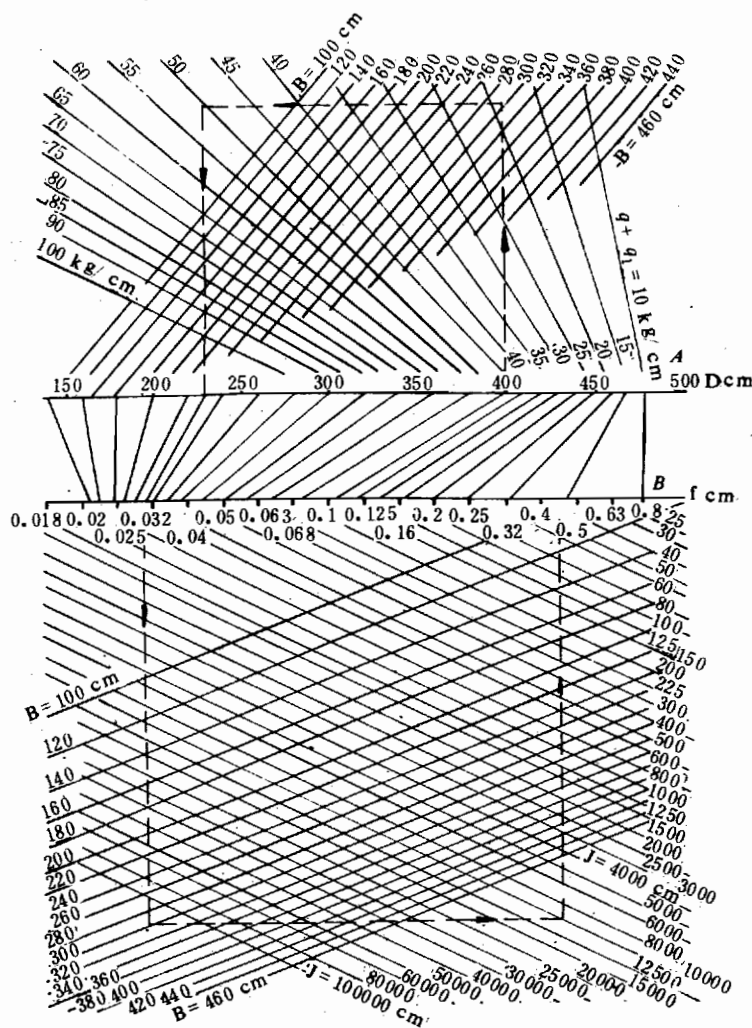


图 1-15-41 洛特曼挠度计算图

【说明】 下面是洛特曼(K. Lotman)设计的计算由弯矩产生的压榨辊挠度的列线图(图 1-15-41),其依据是由式 1-15-335 改写的形式,即以 $l = b + 2U$ 代入式 1-15-335 得:

F —— 垂直于辊体轴线的横向截面的面积(m^2)

$$F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad (1-15-338)$$

D, d —— 分别为辊壳的外径与内径(m)

(3) 普通压榨辊总挠度的计算

【说明】 普通压榨辊的总挠度为由弯矩产生的挠度与由剪力产生的挠度之和。

【公式】

$$f = f_b + f_{ib} \quad (1-15-339)$$

式中 f —— 总挠度(m)

f_b —— 由弯矩产生的挠度(m)

f_{ib} —— 由剪切力产生的挠度(m)

【讨论】 ①当 $E = 2.2G$, 且 $l = 1.2b$ 时, 则:

$$\frac{f_{ib}}{f_b} = \frac{D^2 + d^2}{b^2} \quad (1-15-340)$$

②对于实心辊筒, 则:

$$\frac{f_{ib}}{f_b} = \frac{D^2}{b^2} \quad (1-15-341)$$

以上式中符号含义及单位均同上

【注意】 当辊筒直径相对于辊面宽度的比值越大时, 由剪力产生的挠度相对于由弯矩产生的挠度的比值也越大。而在相同的辊径和辊面宽度下, 在相同的均布载荷下空心辊筒中由剪力产生的挠度比实心辊筒为大。通常认为当 $\frac{f_{ib}}{f_b} \leq 0.03$ 时, 可以对 f_{ib} 忽略不计。

若设 $d = 0.8D$, 则对于空心的压榨辊, 在其辊径大于 $0.135b$, 即其辊面宽度的 13.5%、对于实心的压榨辊在其辊径大于辊面宽度的 17% 时, 就要考虑由剪力所产生的挠度了。

(三) 真空压榨辊的强度及挠度计算

1. 双辊真空压榨中一般情况下的真空辊的强度及挠度计算

(1) 真空下压辊的强度及挠度计算

① 作用于下压榨辊壳上的合成载荷 Q 的计算

【公式】

$$Q = \sqrt{G^2 + (qb + Q_z + P_x - P_{mf})^2 + 2G(qb + Q_z + P_x - P_{mf})\cos\gamma} \quad (1-15-342)$$

式中 Q —— 合成载荷(N)

G —— 真空辊壳重量(N)

q —— 下压辊所承受的均布载荷(N/m), 当真空压榨辊处于下辊位置时, q 由上辊重量及附加压力所形成; 当真空辊处于上辊, 而在下压辊上施加附加压力时, q 是由附加压力除去其相配的下辊重量的影响后所形成

b —— 辊面宽度(m)

Q_z —— 毛毯张力的合力(N)

$$Q_z = 2q_m b \sin \frac{\theta}{2} \quad (1-15-343)$$

q_m ——毛毯张力的计算值(N/m),可取 $q_m = 19.62 \times 10^2 \text{N/m} (2\text{kg/cm})$

θ ——毛毯在辊面上的包角(度)

P_x ——真空箱产生的抽吸力(N)

$$P_x = p x \alpha_0 b_0 \quad (1-15-344)$$

p_x ——真空箱内真空度(Pa),可以取 $P_x = 7.36 \times 10^4 \text{Pa} (0.75\text{kg/cm}^2)$

α_0, b_0 ——真空箱最大箱口宽度及最大抽吸幅宽(m)

P_{mf} ——真空箱密封条压向真空辊壳内圆面上的压力(N)

$$P_{mf} = 2P_t(a_1b_1 + a_2b_2) \quad (1-15-345)$$

P_t ——密封条的加压气胎中的气压(Pa),可取 $P_t = 4.9 \times 10^4 \text{Pa} (0.5\text{kg/cm}^2)$

a_1, b_1 ——分别为纵横向密封条长度(m)

a_2, b_2 ——分别为纵横向密封条宽度(m)

γ ——上下辊中心连线与铅直面之间的夹角(度)

$$\gamma = \arcsin \frac{2m}{D_s + D_x} \quad (1-15-346)$$

D_x ——下辊直径(m)

D_s ——上辊直径(m)

m ——上下压辊的偏心距(m)

②真空下压辊的最大弯矩计算

【公式】

$$M_1 = \frac{Q}{4} \left(l - \frac{b}{2} \right) \quad (1-15-347)$$

式中 M_1 ——最大弯矩(N·m)

l ——真空辊轴承中心间距(m)

b ——同上

③真空下压辊的合成弯矩计算

【公式】

$$M = \sqrt{M_1^2 + 0.75M_2^2} \quad (1-15-348)$$

式中 M ——合成弯矩(N·m)

M_2 ——下压辊为主动辊时所受的扭矩(N·m),见式 1-15-324

④真空下压辊的强度计算

【公式】

$$[\sigma_w] = \frac{M}{W}$$

式中 $[\sigma_w]$ ——最大弯曲应力(Pa)

W ——真空压榨辊的真空截面模数(m^3),计算同普通压榨辊

M ——同上

⑤下压辊的挠度计算

【公式】

$$f = \frac{qb^3}{384EI_{\text{总}}} (12l - 7b) \quad (1-15-349)$$

式中 f —— 挠度(m)

q —— 均布载荷(N/m)

$$q = \frac{Q}{b}$$

E —— 压榨辊体材料的拉伸弹性模数,对钢取 $E=16.2 \times 10^{10}(\text{N/m}^2)$

l —— 压辊轴承中心距(m)

b —— 真空伏辊面宽(m)

$I_{\text{均}}$ —— 真空伏辊对于包含其轴线的任何平面的全幅宽平均惯性矩(m^4)

$$I_{\text{均}} = \frac{\pi}{64}(D^4 - D_1^4)(1 - \lambda) \quad (1-15-350)$$

D, D_1 —— 真空伏辊的外径和内径(m)

λ —— 真空伏辊的开孔率(%)

(2) 真空上压辊的强度及挠度计算

【说明】 对于作为上压辊的真空压榨辊的强度及挠度的计算,其计算方法和步骤均可参考真空下压榨的计算方法及步骤来进行。

2. 真空压榨辊本身作为加压用辊筒时的强度及挠度计算

【说明】 在双辊真空压榨中的个别情况下,以及在许多复式压榨中,真空压榨辊不论处于上辊或是下辊的位置时,其本身位置有时是活动的,是作为压榨辊组中施加有附加压力的辊筒来配置的,尽管此时它仍然借适当的机械机构与传动装置连接在一起。此时,其辊壳的受力情况就与上述的第一种情况不同。但对于真空压榨辊,不论是位置固定的,还是作为加压用的辊筒;不论是位于上辊还是下辊位置,在计算其强度时,都按照处于固定的下辊位置的条件来计算,因为这样是偏于安全并有利于提高真空压榨辊的通用性的。故计算弯曲应力时,仍然要用式 1-15-342 及式 1-15-347。但计算挠度时,代入式 1-15-349 中的均布载荷 q 要视真空压榨辊的位置而定。

(1) 当真空压榨辊位于上辊位置时的均布载荷 q_s

【公式】

$$q_s = \frac{(qb + Q_x + P_x - P_{mf} - KG_0)}{b} \quad (1-15-351)$$

式中 q_s —— 上辊均布载荷(N/m)

qb —— 产生的压区压力(N)

$$qb = P + P_{mf} - Q_x - P_x + KG_0 \quad (1-15-352)$$

P —— 有效附加压力(N),仅指沿两辊中心连线方向上的附加压力

K —— 把真空伏辊全重 G_0 分解到两辊中心连线方向上时的系数, K 将取决于真空辊轴承臂(或其销轴)在工作状态下的位置和真空辊与邻辊中心连线与铅直面所成的夹角 γ ,真空辊位于上方时取正值;相反 K 取负值。

Q_x —— 毛毯张力合力(N)

P_x —— 真空箱抽吸力(N)

P_{mf} —— 真空箱密封条压力(N)

G_0 —— 真空辊全重(N)

(2) 当真空辊位于下辊位置时的均布载荷 q_x

【公式】

$$q_x = q + \frac{KG}{b} = \frac{1}{b}(P + P_{mf} - Q_z - P_x - KG_0 + KG) \quad (1-15-353)$$

式中 q_x ——下辊均布载荷(N/m)

G ——真空辊壳重量(N)

其它同上

(四)中固辊的强度及挠度计算

【说明】 中固辊的强度计算主要是核算辊体的应力,其次是芯轴的应力。参见图 1-15-43。

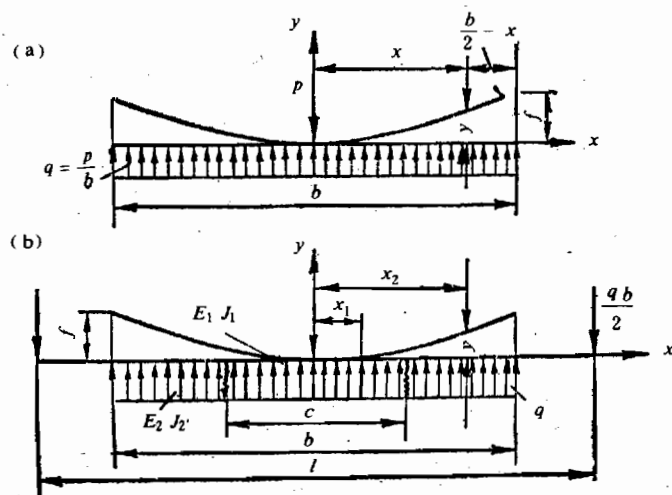


图 1-15-43 中固辊的应力计算图

a—仅在辊体正中部位固装, b—中固段长度为 C 时的辊筒

1. 辊体的应力计算

(1) 辊体中部的最大弯曲应力计算

【公式】

$$\sigma_1 = \frac{E_T M_1 D}{2(E_T I_T + E_Z I_Z)} \quad (1-15-354)$$

式中 σ_1 —— 辊体中部的最大弯曲应力(N/m²)

E_Z, E_T —— 分别为芯轴及辊体材料的弹性模数(N/m²), 对钢芯轴, $E_Z = 2.06 \times 10^{11}$ N/m²; 对于铸铁辊体 $E_T = 1.03 \times 10^{11}$ N/m²

I_Z, I_T —— 分别为中固辊范围内芯轴及辊体的惯性矩(m⁴)

D —— 辊体外径[不计包胶等辊面附加层(m)]

M_1 —— 中固辊最大弯矩(N·m)

$$M_1 = \frac{qb^2}{8}(l - 2n) \quad (1-15-355)$$

q —— 辊面所受的均布载荷(N/m), 设 q 均布于全长上, 当中固辊为上辊时, 则:

$$q = \frac{P}{b} \quad (1-15-356)$$

P —— 附加压力(N)

b —— 辊体面宽(m)

l —— 辊的轴承中心距(m), 并令:

$$l = nb \quad (1-15-357)$$

n —— 长度系数

(2) 辊体的最大应力计算

【说明】 对于辊体中固段的应力除辊体中部最大应力 σ_1 外, 还应按后面第二篇第三章中“管辊的闷头的计算方法”求出其作为包容件由过盈配合所产生的内表面(在辊体中固段内径 D_2 上)最大拉应力 σ_3 ; 也应按配合时可能的最小过盈来核算中固段所能传递的转矩, 这一转矩应大于中固辊的最大工作转矩。

(3) 辊体的两侧段中的应力计算

【公式】

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{W} \quad (1-15-358)$$

式中 M_2 —— 辊体两侧段中的最大弯矩(N·m)

$$M_2 = \frac{qb^2}{8}(1-m)^2 \quad (1-15-359)$$

式中 m —— 中固段长度与辊面宽度之比值

$$m = \frac{c}{b} \quad (1-15-360)$$

c —— 中固段长度(m)

W —— 辊筒的截面模数(m³)

其它同上

2. 芯轴的最大应力计算

(1) 过盈配合的中固段所能传递的转矩计算

【公式】

$$M_N = \frac{c}{2} f P \cdot \pi D_1^2 \quad (1-15-361)$$

式中 M_N —— 转矩(N·m)

c —— 中固段长度(m)

f —— 配合面间的摩擦系数, 可取 $f = 0.08$

P —— 配合面上的压力(Pa)

D_1 —— 中固段处辊体内径(m)

(2) 芯轴的危险截面(中固段端部)的最大弯矩计算

【公式】

$$M_z = \frac{qb}{4}(l-c) = \frac{qb^2}{4}(n-m) \quad (1-15-362)$$

式中 M_z —— 危险截面最大弯矩(N·m)

其它同上

(3) 芯轴的最大应力计算

【说明】 芯轴的最大应力应为 M_N 与 M_z 先换算成合成弯矩后再计算。钢质芯轴的最

大应力不应超过 $6 \times 10^7 \sim 8 \times 10^7 \text{Pa}$ ($600 \sim 800 \text{kg/cm}^2$)

3. 中固辊的挠度计算

(1) 由弯矩产生的挠度

【说明】 在一般情况下,由弯矩产生的最大挠度位于距辊面正中为 $(0.15 \sim 0.2)b$ 处的截面上。当 $n = 1.2$ (n 为轴承中心距 l 与辊面宽 b 之比)、而取 $\alpha = 0.41$ (α 为刚度换算系数, $\alpha = \frac{E_2 I_2}{E_1 I_1}$, $E_1 I_1$ —— 在中固段内辊体与芯轴的总刚度; $E_2 I_2$ —— 辊体除中固辊以外两侧的刚度)时,可以足够精确地认为最大挠度在 $0.2b$ 处且其值可用下式表示。

【公式】

$$f_1 = \frac{0.29qb^4}{384E_2 I_2} \quad (1-15-363)$$

式中 f_1 —— 由弯矩产生的挠度(m)

其它同上

【注意】 由此计算的挠度是很小的,仅为相同条件下普通压榨辊的 4%,几乎接近于压榨辊辊面不柱度公差值。因此,在人造石辊面的中固辊作为上辊与包胶的可控中高辊相配而组成压区时,可以适应较大的压区压力变化范围而仍能在合理的程度内保持压区压力分布的均匀性。

(2) 由剪力产生的挠度计算

【说明】 在中固辊两侧段端面处(即 $x = \frac{b}{2}$) 的剪切挠度有最大值。

【公式】

$$f_2 = \frac{5}{36} \cdot \frac{q}{G_2 F_2} [b^2 + (1 - \alpha^1)c^2 - 2bc] \quad (1-15-364)$$

$$\text{或 } f_2 = \frac{5}{36} \cdot \frac{qb^2}{G_2 F_2} [1 + (1 - \alpha^1)m^2 - 2m] \quad (1-15-365)$$

式中 f_2 —— 剪力挠度(m)

α^1 —— 刚度系数

$$\alpha^1 = \frac{G_2 F_2}{G_1 F_1} \quad (1-15-366)$$

$G_1 F_1$ —— 中固段上的截面总刚度($\text{N} \cdot \text{m}^2$)

$G_2 F_2$ —— 辊体两侧段上的辊体刚度($\text{N} \cdot \text{m}^2$)

(3) 中固辊的总挠度计算

【说明】 中固辊的总挠度为由弯矩产生的挠度与由剪力产生的挠度二者的叠加。

五、石辊的计算

(一) 花岗岩辊体的固装条件计算

【说明】 以花岗岩作辊体的天然石辊按其辊体的固装方法应计算如下三个固装条件。

1. 条件一

【说明】 压盘(垫圈)与花岗岩辊体的端面之间的摩擦力应该大于在工作状态下任何可能施加于辊体而使之相对于芯轴发生移动的力。也就是使压区中产生所需的线压所施

加的附加压力 P_0 。

【公式】

$$T_1 > \frac{P}{2f} \quad (1-15-367)$$

式中 T_1 —— 压盘与辊体端面间的压力(N)

P —— 附加压力(N)

f —— 压盘与花岗岩辊体间的静摩擦系数,通常取 $f = 0.15$

2. 条件二

【说明】 在弯曲力矩的作用下,辊体发生挠曲,但由于压盘夹紧辊体的两端,才能使辊体相当于两端支承值的梁来承受弯矩。因此,在辊体与压盘相接触的端面上二者不能因该面上弯矩的作用发生脱开的情况。亦即辊体在接触面上所受的压应力必须大于该面上可能的最大弯曲应力。

【公式】

$$T_1 > \frac{2P(l-b)D}{D^2 + d^2} \quad (1-15-368)$$

式中 l —— 轴承中心距(m)

b —— 辊体面宽(m)

D, d —— 花岗岩辊体外径与内径(m)

其它同上

3. 条件三

【说明】 为了使石辊可靠的固装,按计算所得的最大压盘与辊体间的压力值 T_1 再放大 30 ~ 50%,为固装压力 T_0 ,在一般情况下,按第一条条件计算的 T_1 将大于用第二条条件计算的 T_1 。

【公式】

$$T_0 = (1.3 \sim 1.5)T_1 \quad (1-15-369)$$

式中 T_0 —— 固装压力(N)

T_1 —— 同上

(二)花岗岩辊体的应力计算

【说明】 花岗岩辊体在载荷的弯矩作用下产生弯曲应力,在其中性面的一侧有压应力而另一侧有拉应力。

1. 辊体中部的弯曲应力计算

【公式】

$$\sigma_{\text{弯中}} = \frac{M}{W} \quad (1-15-370)$$

式中 $\sigma_{\text{弯中}}$ —— 辊体中部的最大弯曲应力(Pa)

M —— 辊体中部的最大弯矩(N·m)

$$M = P\left(\frac{l}{4} - \frac{b}{8}\right) \quad (1-15-371)$$

W —— 截面模数(M^3)

$$W = \frac{\pi}{32D}(D^4 - d^4) \quad (1-15-372)$$

其它同上

2. 辊体中性面一侧受到的最大压应力计算

【公式】

$$\sigma_{\text{压最大}} = \sigma_{\text{压}} + \sigma_{\text{弯中}} \quad (1-15-373)$$

式中 $\sigma_{\text{压最大}}$ —— 最大压应力(Pa)

$\sigma_{\text{压}}$ —— 辊体同时受到的压盘所产生的压应力(Pa)

3. 辊体中性面另一侧受到的最大拉应力计算

【公式】

$$\sigma_{\text{拉最大}} = \sigma_{\text{弯中}} - \sigma_{\text{压}} \quad (1-15-374)$$

式中 $\sigma_{\text{拉最大}}$ —— 最大拉应力(N)

【注意】 花岗岩是各向异性的材料,其抗压强度为 $14 \times 10^7 \sim 25 \times 10^7 \text{Pa}$ ($1400 \sim 2500 \text{kg/cm}^2$),远大于其抗拉强度 $1 \times 10^7 \sim 4 \times 10^7 \text{Pa}$ ($100 \sim 400 \text{kg/cm}^2$)。为此,在设计中应使辊体承受尽可能大的压应力和尽可能小的拉应力。通常应尽可能使按式 1-15-369 得出的 T_0 和将其代入式 1-15-368 而得的 $\sigma_{\text{压}}$ 能在安全的范围内且大于 $\sigma_{\text{弯中}}$,这样,整个花岗岩辊体就全都受到压应力了。如达不到这样的要求,则使最大拉应力 $\sigma_{\text{拉最大}}$ 不超过 $0.2 \times 10^7 \sim 0.3 \times 10^7 \text{Pa}$ ($20 \sim 30 \text{kg/cm}^2$)。

(三) 固装时芯轴升温的计算

【说明】 花岗岩辊体的固装都是采用加热芯轴使之膨胀伸长的办法来进行。芯轴加热升高的温度 t 的计算如下。

【公式】

$$t = \frac{T_0' (1 + \frac{E_s F_s}{E_T F_T})}{\alpha E_s F_s} + t_0 \quad (1-15-375)$$

式中 t —— 芯轴需加热的温度($^{\circ}\text{C}$)

T_0' —— 芯轴冷却到室温后要求的压力(N),通常 $T_0' \geq T_0$,与辊体材料有关

T_0 —— 固装压力(N),见式 1-15-369

α —— 芯轴的线膨胀系数,对于钢轴为 $12 \times 10^{-6} (1/^{\circ}\text{C})$

T_0 —— 室温($^{\circ}\text{C}$)

E_s, E_T —— 分别为芯轴与辊体的纵向弹性模数(Pa),对于钢芯轴 $E_s = 2.1 \times 10^{11} \text{Pa}$,对于花岗岩辊体 $E_T = (5 \sim 8) \times 10^{10} \text{Pa}$

F_s, F_T —— 分别为芯轴及辊体的横截面面积(m^2)

六、不同抗挠结构的压榨辊的搭配计算

(一) 上辊为中固辊或芯辊而下辊为普通结构辊的搭配计算

【说明】 此种搭配方式,结构上并不复杂,也不会给操作上带来新的困难,用合理的中高度保证了压区内的均匀压力分布。但是用芯轴辊作为上辊时,虽有挠度小及必需的上下辊刚度比值小的优点,但因要定期润滑和更换轴承而使用上比较复杂,故较少采用。

1. 网宽大于 2000mm 的纸机的搭配计算

(1) 上下辊刚度比的计算

【公式】

$$\frac{E_x I_x}{E_s I_s} = \frac{12l - 7b}{3\beta b} \quad (1-15-376)$$

式中 $E_x I_x$ ——下辊刚度(N·m²)

$E_s I_s$ ——上辊刚度(N·m²)

l ——辊筒轴承中心距(m)

b ——辊面宽度(m)

β ——弯矩挠度比,对于中固辊, $\beta = 0.45 \sim 0.5$; 对于芯轴辊, $\beta = 0.85 \sim 0.95$;
计算见下

(2)当中高度与线压无关时上下辊总中高度的计算

【公式】

$$K = 2(f_{wx} + f_{ws}) = \frac{2(W_s + W_x)b^2}{384E_x I_x} (12l - 7b) \quad (1-15-377)$$

式中 f_{wx} ——下辊辊面两端相对于其中心横截面的弯矩挠度(m)

f_{ws} ——上辊辊面两端相对于其中心横截面的弯矩挠度(m)

W_s, W_x ——上、下辊筒重量(N)

其它同上

2.网宽小于2000mm的纸机的搭配计算

(1)上下辊刚度比的计算

【公式】

$$\frac{E_x I_x}{E_s I_s} = \frac{4b(12l - 7b) + 33(D_s^2 + d_x^2)}{12b^2\beta + 33(D_s^2 + d_s^2)\beta'} \quad (1-15-378)$$

式中 d_s, d_x ——分别为上、下辊壳的内径(m)

β' ——中固辊的剪力挠度比

其它同上

(2)与线压变化无关的必需中高度的计算

【公式】

$$\begin{aligned} K &= 2(f_{wx} - f_{ws}) \\ &= 2\left[\frac{(W_s + W_x)b^2(12l - 7b)}{384E_x I_x} + \frac{5(W_s + W_x)b}{36G_x F_x}\right] \end{aligned} \quad (1-15-379)$$

式中 f_{wx}, f_{ws} ——上、下辊的弯矩、剪切总挠度(m)

G_x ——下辊材料的剪切弹性模数(Pa)

F_x ——下辊辊壳的截面积(m²)

其它同上

(二)上辊为普通结构辊而下辊为中固辊的搭配计算

【说明】 这种搭配方式常见于旧式纸机的改造。该种搭配方式中上下两辊的总中高度计算如下。

【公式】

$$\begin{aligned} K &= 2(f_{ws} - f_{wx}) \\ &= \frac{(qb - G_x)b^2(12l - 7b) - 3(qb + G_x)b^2\beta}{384(E_s I_s - E_x I_x)} \end{aligned} \quad (1-15-380)$$

式中 f_{ws} ——上辊的弯矩挠度(m)

f_{wx} —— 下辊的弯矩挠度(m)

q —— 线压力(N/m)

K —— 总中高度(m)

【例】 已知条件如下:

花岗岩上辊外径 $D_s = 600\text{mm}$

花岗岩辊壳内径 $D_s' = 220\text{mm}$

上辊芯轴直径 $d_s = 170\text{mm}$

上、下辊辊面宽度 $b = 2950\text{mm}$

上辊轴承中心距 $l_s = 3400\text{mm}$

最大线压 $q_{max} = 35\text{kg/cm}$

花岗岩上辊重量 $G_s = 3100\text{kg}$

选定的下辊(中固辊)有关参数:

花岗岩的纵向弹性模数 $E_{s1} = 5.3 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$

花岗岩上辊中的水泥填充层的纵向弹性模数 $E_{s2} = 2 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$

钢质芯轴(上、下辊材质相同)的纵向弹性模数 $E_{st} = 2.1 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$

中固辊铸铁辊壳的纵向弹性模数 $E_c = 1 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$

中固辊外径(包括胶层) $D = 550\text{mm}$

中固辊辊壳外径 $D_x = 500\text{mm}$

中固段以外的辊壳内径 $D_x' = 400\text{mm}$

中固段芯轴直径 $d = 300\text{mm}$

中固辊重量 $G_x = 1750\text{kg}$

中固辊长度 $c = 300\text{mm}$

中固辊长与辊面宽度比 $m = \frac{c}{b} = \frac{300}{2950} = 0.102$

中固辊轴承中心距 $l_x = 3445\text{mm}$

计算步骤及结果

①花岗岩上辊刚度的计算

$$\begin{aligned} E_s I_s &= E_{s1} I_{s1} + E_{s2} I_{s2} + E_{st} I_{st} \\ &= 5.3 \times 10^5 \times \frac{\pi}{64} (60^4 - 22^4) + 2 \times 10^5 \times \frac{\pi}{64} (22^4 - 17^4) + 2.1 \times 10^6 \times \frac{\pi}{64} \times 17^4 \\ &= 347500 \times 10^6 (\text{kg} \cdot \text{cm}^2) \\ &= 340.90 \times 10^6 (\text{N} \cdot \text{m}^2) \end{aligned}$$

②上辊在最大线压力 q_{max} 下的挠度

$$\begin{aligned} f_{ws} &= \frac{(qb - G_s)b^2}{384E_s I_s} (12l - 7b) \\ &= \frac{(35 \times 295 - 3100) \times 295^2}{384 \times 347500 \times 10^6} (12 \times 34 - 7 \times 295) \\ &= 0.0095 (\text{cm}) \approx 0.1 (\text{mm}) \end{aligned}$$

③中固辊在中固段以外的辊壳刚度计算

$$\begin{aligned} E_{x2} I_{x2} &= E_c I_{x2} = 1 \times 10^6 \times \frac{\pi}{64} (50^2 - 40^2) \\ &= 184500 \times 10^6 (\text{kg} \cdot \text{cm}^2) \end{aligned}$$

$$=181.0 \times 10^6 (\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

④中固段的刚度计算

$$\begin{aligned} E_{x1} I_{x1} &= E_c I_{x1} + E_{st} I_{stx} \\ &= 1 \times 10^6 \times \frac{\pi}{64} (50^4 - 30^4) + 2.1 \times 10^6 \times \frac{\pi}{64} \times 30^4 \\ &= 357000 \times 10^6 (\text{kg} \cdot \text{cm}^2) \\ &= 350.22 \times 10^6 (\text{N} \cdot \text{m}^2) \end{aligned}$$

⑤中固辊的刚度比

$$\alpha = \frac{E_{x2} I_{x2}}{E_{x1} I_{x1}} = \frac{184500 \times 10^6}{357000 \times 10^6} = 0.517$$

⑥中固辊的轴承中心距与辊面宽度比

$$n = \frac{l}{b} = \frac{3445}{2950} = 1.17$$

⑦中固辊的弯矩挠度比

$$\beta = \frac{1 - [(1 - \alpha)(12m - 6m^2 + 4m^3 - 3m^4) - 12m^2 + 8m^3 + 12\alpha mn(2 - m)]}{3} \quad (1-15-381)$$

$$\begin{aligned} &= 1 - \left[\frac{(1 - 0.517)(12 \times 0.102 - 6 \times 0.102^2 + 4 \times 0.102^3 - 3 \times 0.102^4) - 12 \times 0.102^2 + 8 \times 0.102^3 + 12 \times 0.517 \times 0.102 \times 1.17(2 - 0.102)}{3} \right] \\ &= 0.38 \end{aligned}$$

⑧中固辊在最大线压力下的挠度计算

$$\begin{aligned} f_{wx} &= \frac{3(q_{max}b + G_x)b^3\beta}{384E_{x2}I_{x2}} \quad (1-15-382) \\ &= \frac{3(35 \times 295 + 1750) \times 295^3 \times 0.38}{384 \times 184500 \times 10^6} \\ &= 0.0049 (\text{cm}) \\ &\approx 0.05 \text{mm} \end{aligned}$$

⑨在最大线压下的中高度 K_{max}

$$\begin{aligned} K_{max} &= 2(f_{ws} - f_{wx}) \\ &= 2(0.1 - 0.05) \\ &= 0.1 (\text{mm}) \end{aligned}$$

即 0.1mm 的总中高度分配到花岗岩上辊和中固下辊上之后,各辊的中高度约仅为 0.05mm 左右。

(三)上下辊均为抗挠结构辊的搭配计算

【说明】 该种搭配只能用于普通正反压榨或光滑压榨,不适用于真空压榨,因后者在结构上不能制成为中固辊或芯轴辊。尽管这样搭配时在辊筒中心横截面上和辊端处两辊的辊面可以准确地在相应载荷下相接触,但在沿辊筒轴线上的其它横截面上却是辊筒挠度使辊筒有间隙的。因此,该种搭配方式并不见得优于前两种。在定出压榨辊的中高后而要计算辊筒某个给定横截面上的中高度时,可用下式计算。

【公式】

$$K_i = K \left(\frac{b_i}{b_0} \right)^2 \quad (1-15-383)$$

式中 K_i ——在某一横截面上的中高度(m)

K ——在中心横截面上的中高度(m)

b_i ——某一横截面与中心横截面的距离(m)

b ——辊面宽度的一半(m) $b_0 = \frac{b}{2}$

(四)与可控中高辊的搭配计算

【说明】 各式可控中高辊可以与普通结构辊和其它抗挠结构型式的辊筒搭配组成压榨或纸机压光机及超级压光机辊组。但在组成压榨辊组时,不论是在双辊压榨还是在复式压榨中与可控中高辊搭配形成压区的配对辊筒基本上都是普通结构的石辊或真空辊。

对于浮动辊或CC辊辊壳在内部油压下的弯曲变形弹性曲线和挠度方程同普通结构辊一样。其最大挠度可用下式表示。

$$\text{【公式】} \quad f = \frac{q_N b^3}{384EI} (12l_1 - 7b) \quad (1-15-384)$$

式中 EI ——辊壳的刚度($N \cdot m^2$)

f ——辊壳的最大挠度(m),在正中横截面上

q_N ——内部油压产生的作用于辊壳内圆面上的均布线压载荷(N/m),对于浮动辊:

$$q_N = P \cdot d \quad (1-15-385)$$

对于CC辊:

$$q_N = P \cdot e \quad (1-15-386)$$

P ——油压(Pa)

d ——辊壳内径(m)

e ——CC辊中条形活塞承压面的短边长度(m)

七、压榨辊中高的计算

(一)中高的计算与分配

【说明】 压榨辊中间的直径 D 与辊子两端的直径 D_0 之差称为中高度。

$$\text{【公式】} \quad K = D - D_0 \quad (1-15-387)$$

式中 K ——中高度(m)

D, D_0 ——辊子中间和两端直径(m)

1. 只是下压辊有中高时的计算

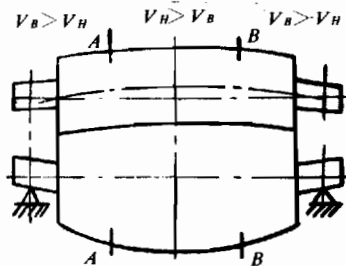


图 1-15-44 压榨辊间的滑动

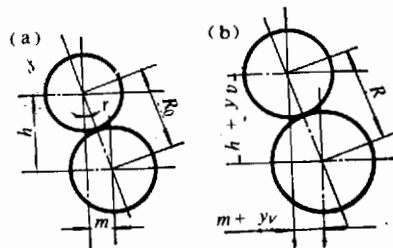


图 1-15-45 中高度计算图

(a)中高度 (b)辊筒挠度(上辊不加压的情况)

【说明】如只是下辊有中高,则其中高度的值应等于上下辊所产生的挠度之和的两倍。这是一般造纸机上的中高分配法。但此法会使压辊的AA及BB两切面之间(见图1-15-44)因主动下辊的圆周速度大于上辊而产生“正滑动”;在两断面之外的两端则产生“负滑动”现象。影响脱水,加重辊子胶层及毛毯的磨损。

【公式】

$$K = 2(f_s + f_x) \quad (1-15-388)$$

$$D = D_0 + 2(f_s + f_x) \quad (1-15-389)$$

式中 K ——下压辊中高度(m)

f_s ——上压辊挠度(m)

f_x ——下压辊挠度(m)

D, D_0 ——同上

2. 上下辊均有中高时的分配计算

【说明】在有些纸机上将中高分配在上下压辊之间,这样可以减轻“正”、“负”滑动现象的影响。其分配的方法按上下辊的直径的大小进行。

【公式】

$$K_x = K \frac{D_x}{D_x + D_s} \quad (1-15-390)$$

$$K_s = K \frac{D_s}{D_x + D_s} \quad (1-15-391)$$

式中 K_x, K_s ——下辊及上辊的中高度(m)

D_x, D_s ——下辊及上辊的直径(m)

K ——总中高度(m),见式1-15-393和式1-15-395

(二) 胶辊辊面的中高——周长中高度的计算

【说明】由于胶辊难以准确地测量其直径,通常采用测量胶辊中心及端面两个部位的圆周长度来计算其中高度,称周长中高度。

【公式】

$$K_c = \pi(D - D_0) \quad (1-15-392)$$

式中 K_c ——周长中高度(m)

D, D_0 ——同上

(三) 双辊压榨中压榨辊中高的计算与分配

1. 上下压辊处于同一铅直面内时的中高计算

【公式】同式1-15-388

2. 上下辊具有偏心距时辊筒的中高度计算

【说明】参见图1-15-45。

【公式】

$$K = 2(f_c \cos \gamma + f_p \sin \gamma) \quad (1-15-393)$$

$$\text{或} \quad K = 2 \cdot \frac{f_c}{\cos \gamma} \quad (1-15-394)$$

$$\text{或} \quad K = 2 \cdot \frac{(f_s + f_x)}{\cos \gamma} \quad (1-15-395)$$

式中 f_c ——在垂直方向上两辊的挠度之和(m)

f_p ——在水平方向上两辊的挠度之和(m)

γ ——偏心角(度)

f_s, f_x ——分别表示上、下辊的挠度(m)

3. 双辊压榨中高度在上下压辊的分配计算

【公式】 见式1-15-388、1-15-390、1-15-391

(四) 复合压榨中高的计算与分配

1. 水平排列的三辊复合压榨的中高度计算与分配

【说明】 此种情况下,一般中间辊为固定辊,见图1-15-46。

(1) 中高的计算

【公式】

$$K = 2(f_1 + f_3) \quad (1-15-396)$$

式中 K ——全部辊组的总中高度(m)

f_1 ——第1辊在附加压力 P_1 作用下产生的挠度(m)

f_3 ——第三辊在附加压力 P_3 作用下产生的挠度(m)

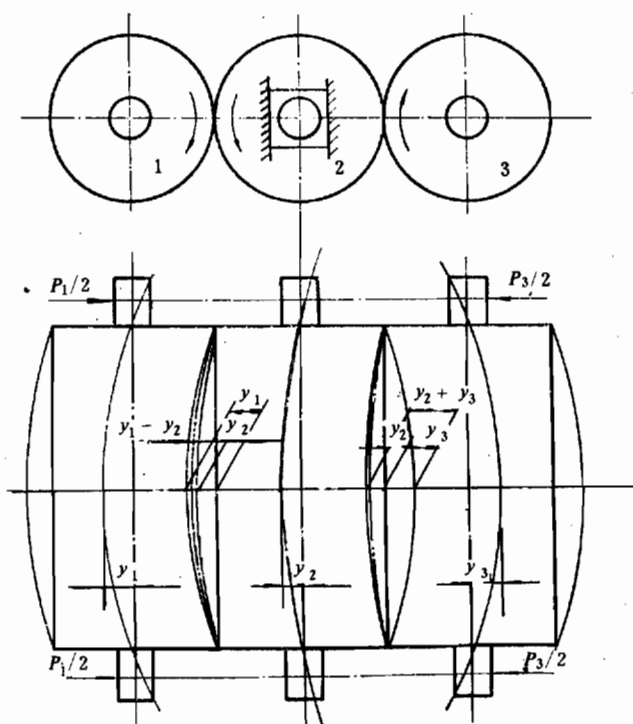


图1-15-46 水平排列的三辊复式压榨的中高计算图

1—第一辊 2—第二辊 3—第三辊

(2) 中高的分配

$$\text{【公式】} \quad K_1 = 2(f_1 - f_2) \frac{D_1}{D_1 + D_2} \quad (1-15-397)$$

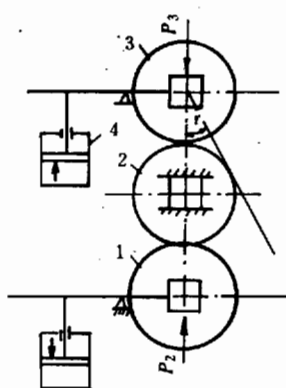


图1-15-47 斜列排列的三辊复

式压榨中高计算图

1—第一辊 2—第二(中间)辊

3—第三辊 4—加压机构

$$K_2 \doteq 2(f_1 - f_2) \frac{D_2}{D_1 + D_2} \quad (1-15-398)$$

$$K_3 = 2(f_1 + f_2) - 2(f_1 - f_2) \frac{D_1 + 2D_2}{D_1 + D_2} \quad (1-15-399)$$

式中 K_1, K_2, K_3 —— 分别表示第1、2、3辊的中高度(m)

f_1 —— 第一辊在附加压力 P_1 作用下产生的挠度(m)

f_2 —— 第二辊(固定辊)在均布载荷 $(q_1 - q_1)b$ 作用下产生的挠度(m)

q_1, q_1 —— 分别为第一压区(第1、2辊间)及第二压区(第2、3辊间)的线压(N/m)

D_1, D_2 —— 分别为第1、2辊的直径(m)

2. 斜列排列的三辊复合压榨的中高计算与分配

【说明】 参见图1-15-47。此种情况下,应先根据各辊的受力情况,计算各辊的挠度,再求出中高值。

(1) 受力分析计算

$$\text{【公式】} \quad P_1 = q_1 b + G_1 \cos \gamma \quad (1-15-400)$$

$$P_3 = q_1 b - G_3 \cos \gamma \quad (1-15-401)$$

$$q_2 = (q_1 - q_1) + \frac{G_2 \cos \gamma}{b} \quad (1-15-402)$$

式中 P_1 —— 第一辊的附加压力(N)

P_3 —— 第三辊的附加压力(N)

q_2 —— 第二辊受到的均布载荷(N/m)

q_1, q_1 —— 第一及第二压区的线压(N/m)

G_1, G_2, G_3 —— 第一、二、三压辊的重量(N)

b —— 辊面宽度(m) 其它同上

(2) 中高的计算

$$\text{【公式】} \quad K = 2(f_1 + f_3) \quad (1-15-403)$$

式中 K —— 全部辊组的总中高度(m)

f_1, f_3 —— 分别为第1及第3辊的挠度(m)

(3) 中高的分配

【说明】 同水平排列的三辊复合压榨的中高的分配计算。即同式1-15-397、1-15-398、1-15-399。

3. 直立排列的三辊压榨中高的计算与分配

【说明】 如图1-15-48所示,此时多数情况下,也是中间辊为固定辊,这实际上是斜列排列辊组在 $\gamma = 0$, 而 $\cos \gamma = 1$ 代入以上式1-15-400, 1-15-401及式1-15-402得出各部受力后,用同样的方法及式1-15-403即可得出辊组的总中高度。

(1) 中高的计算

【说明】 同斜列排列三辊压榨中高的计算。

(2) 中高的分配

【说明】 同式1-15-397、1-15-398、1-15-399。

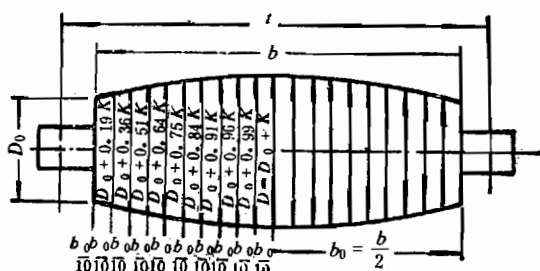
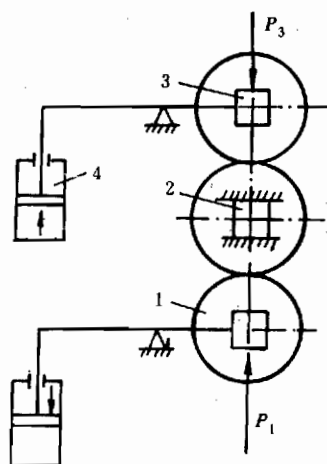


图1-15-49 辊子中高曲线图

图1-15-48 直立排列三辊复合式压榨中高计算图

1—第一辊 2—第二(中间)辊 3—第三辊 4—加压机构

(五)几种典型纸机的中高度

【说明】 几种典型造纸机压榨辊的中高度常用值见表1-15-31

表1-15-31

几种典型造纸机的中高值

品种	造纸机型式	各 道 压 榨 中 高 度												备 注
		一 压			二 压			三 压			四 压			
		线压	上辊	下辊	线压	上辊	下辊	线压	上辊	下辊	线压	上辊	下辊	
凸版印刷纸	1575双网双缸造纸机	38~40		0.8~1.0										1575 双网双缸纸机的托辊压力为275×10 ⁴ ~294×10 ⁴ Pa, 中高值为0.8~1mm
打字纸	1880长网多缸薄页造纸机	15~20		0.46	20~25		0.55				~10	0.14		
胶版印刷纸	2362长网多缸造纸机	15		0.41	20		0.47	25		0.53				
新闻纸	3150长网多缸造纸机	13~21		0.92	17~28		0.95	26~38	0.3	0.95				
纸袋纸	4200长网多缸造纸机	20	2.1	2.07	30	0.95	2.07	40	0.95	2.07	21	1.2	0.95	
			(胶辊)	(真空辊)		石辊	真空辊		石辊	真空辊		(胶辊)	真空辊	

(六)中高辊面曲线的绘制计算

【说明】 中高辊子中间中点断面直径最大,并向辊子两端对称地缩小,要求出辊子各处的中高量是十分麻烦的。但只要求出一根中高辊,从辊子中点到端面的某些断面上的中高量即可,选取的断面越多,就越准确。一般选用十个断面便能达到标准,然后计算出相应断面上辊子的直径,再将各断面上辊颈连成曲线,就成为中高辊面上的轮廓线。

1. 中高辊任一断面中高量的计算

(1)理论计算法

【说明】 压榨辊任一断面的中高量可用下式进行理论计算。一般情况下是将辊子沿其全长向两端各划为十等分,并计算出每一等分处的 K_x 值。

【公式】

$$K_x = K \left(\frac{b_x}{b_0} \right)^2 \quad (1-15-404)$$

式中 K_x ——距离辊子中心 x 的断面上的中高量(mm)

b_x ——由辊子中点至任何一点 x 的距离(mm)

b_0 ——辊面宽度的一半(mm)

K ——辊子的总中高量(mm)

(2)经验计算法

【说明】 在实际应用中,压榨辊任一断面的中高度可用经验公式来计算,计算时先选定辊子的总中高量 K ,然后将每一辊子的一半分成10等分,分别将每一等分的序数 x 代入式,即可求得此等分的中高率。表1-15-32列出了不同中高度时任一等份下的辊子断面中高值,供参考。

表1-15-32

压辊任一断面中高值

断面中高 K_x 总中高 K	序数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5		4.95	4.80	4.55	3.75	3.2	2.55	1.8	0.95	0.95	0
10		9.90	9.6	9.10	8.40	7.50	6.40	4.20	3.60	1.90	0
15		14.85	14.4	13.65	12.6	11.25	9.60	7.65	5.4	2.85	0
20		19.80	19.20	18.20	16.80	15.00	12.80	10.20	7.20	3.80	0
25		24.75	24.00	22.75	21.00	18.75	16.00	12.75	9.00	4.75	0
30		29.70	28.80	27.30	25.20	22.50	19.80	15.30	10.80	5.70	0
35		34.65	33.60	31.85	29.40	26.25	22.40	17.84	12.60	6.65	0
40		39.60	38.40	36.60	33.60	30.00	26.60	20.40	14.40	7.60	0
45		44.50	43.50	40.95	37.80	33.75	28.80	22.95	16.20	8.55	0
50		49.50	48.00	45.50	42.00	37.50	32.00	25.50	18.00	9.50	0
55		54.45	52.50	50.05	46.20	41.25	35.20	28.50	19.50	10.45	0
60		59.40	57.60	54.60	50.40	45.00	38.40	30.60	21.60	11.40	0
65		64.35	62.40	59.15	54.60	48.75	41.60	33.15	23.40	12.35	0
70		69.30	67.20	63.70	58.80	52.50	44.80	35.70	25.20	13.30	0
75		74.25	72.00	68.25	63.00	56.25	48.00	38.25	27.00	14.25	0
80		79.20	76.80	72.80	67.20	60.00	51.20	40.80	28.80	15.20	0
85		84.15	81.60	77.35	71.40	63.75	54.40	43.35	30.60	16.15	0
90		89.10	86.40	81.90	75.60	67.50	57.60	45.90	32.40	17.10	0
95		94.05	91.20	86.45	79.80	71.25	60.80	48.45	34.20	18.05	0
100		99.00	96.00	91.00	84.00	75.00	64.00	51.00	36.00	19.00	0
110		108.90	105.60	100.10	92.40	82.50	70.40	56.10	39.60	20.90	0
120		118.00	115.20	109.20	100.80	90.00	76.80	61.20	43.20	22.80	0
130		126.70	124.80	118.30	109.20	97.50	83.20	66.30	46.80	24.70	0
140		138.60	134.40	127.40	117.60	105.00	89.60	71.40	50.40	26.60	0
150		148.50	144.00	136.50	126.00	112.50	96.00	76.50	54.00	28.50	0

【公式】

$$K_x = K - K\left(\frac{x}{10}\right)^2 \quad (1-15-405)$$

式中 x ——某一等份的序数

其它同上

2. 中高辊任一断面直径的计算

【公式】

$$D_x = D_0 + K - K\left(\frac{b_x}{b_0}\right)^2 = D_0 + K\left[1 - \left(\frac{b_x}{b_0}\right)^2\right] \quad (1-15-406)$$

式中 D_x ——中高辊任一断面直径(mm)

D_0 ——辊子不计中高时的直径(即两端直径)(mm)

其它同上

【例】 求当 $b_x = \frac{1}{10}b_0$ 、 $\frac{2}{10}b_0$ 及 b_0 处各断面的辊径。

解: 当 $b_x = \frac{1}{10}b_0$ 时, 则:

$$D_1 = D_0 + K[1 - (\frac{1}{10})^2] = D_0 + 0.99K$$

当 $b_x = \frac{2}{10}b_0$ 时, 则:

$$D_2 = D_0 + 0.96K$$

当 $b_x = b_0$ 时, 即 $b_x = \frac{10}{10}b_0$,

则: $D_{10} = D_0$ 。

3. 中高辊面曲线的绘制

【说明】 在实际工作中, 利用式1-15-406求出各等分断面上的 D_x 值, 并连接各 D_x 值的两端点, 即得中高辊子的轮廓。连接各点, 即得出中高曲线, 如图1-15-49。

(七) 用试验法求普通结构辊子的刚度及中高度

【说明】 通常, 对于同一种材料的纵向弹性模数 E 可能在 5 ~ 10% 的范围内波动, 花岗岩辊的变化范围更大一些; 另外, 由于辊子的实际尺寸不同于计算中所用的公称尺寸, 为此, 辊筒横截面的实际惯性矩 I 也与计算值有百分之几的误差, 因此, 为了提高计算值符合于实际情况的程度, 用试验的方法来求得辊筒(主要指普通结构辊) 刚度 EI 及其高度 K 是更为合理的。

【方法】 普通结构辊的刚度可由测取其在集中载荷下的挠度来进行计算。如图1-15-50所示, 把一对已搭配成上下辊的普通结构辊支承好。在下辊的中心横截面上及两端面处装设三个千分表, 其测头自下向上地在铅直平面内顶在辊面上并调整到读数均为零。在上下辊间正中部位垫上一块木块, 使上辊的重量和载荷成为集中载荷施加于下辊的中心横截面上。木块的宽度应不少于150~200mm, 以免损伤下辊的辊面, 木块应表面平滑, 厚度均匀。在上辊轴承上每侧分别施加附加压力 $P_{测}/2$, 于是在下辊正中就受到集中载荷 $Q_{测} = P_{测} + G_s$ (G_s 为上辊重量)。下辊在此集中载荷下的挠度可由三个千分表上的读数求得。正中的千分表上的读数减去两端千分表读数和之半(即其平均值) 所得之差就是下辊在集中载荷下的最大挠度 f_{rmax} 。进而可计算出下辊的刚度 $E_x I_x$ 。

求上辊的刚度 $E_s I_s$ 时(见图中 a), 把三个千分表装到上辊的上方, 也同样地在铅直面内位于中心截面及辊面两端处。在把三个千分表的读数都调到零后, 在上辊两侧轴承上各施加 $P_{测}/2$ 的附加压力。同上取中间千分表读数减去两端千分表读书的平均值, 即是上辊在集中载荷 $P_{测}$ 施加于正中横截面时的最大挠度 f_{smax} 。

1. 下辊的刚度计算

【公式】

$$E_x I_x = \frac{(G_s + P_{测})b^2}{96f_{rmax}}(3l - b) \quad (1-15-407)$$

式中 $E_x I_x$ ——下辊的刚度(N·m²)

G_s —— 上辊重量(N)

$P_{测}$ —— 测定时施加的附加压力(N)

f_{xmax} —— 测得的下辊最大挠度(m)

b —— 辊面宽度(m)

l —— 轴承中心距(m)

2. 上辊的刚度

$$\text{【公式】} \quad E_s I_s = \frac{P_{测} b^2 (3l - b)}{96 f_{smax}} \quad (1-15-408)$$

式中 $E_s I_s$ —— 上辊的刚度(N·m²)

f_{smax} —— 测得的上辊的最大挠度(m)

其它同上

3. 上下压辊在附加压力 P 时所必需的中高度的计算

$$\begin{aligned} \text{【公式】} \quad K &= 2(f_s + f_x) \\ &= \frac{(G_s + G_x + P)f_{xmax}}{G_s + P_{测}} + \frac{P f_{smax}}{P_{测}} \left(\frac{12l - 76}{6l - 2b} \right) \end{aligned} \quad (1-15-409)$$

式中 G_x —— 下辊重量(N)

P —— 工作条件下上、下压辊的附加压力(N)

$P_{测}$ —— 测定时所施加的附加压力(N)

其它均同上

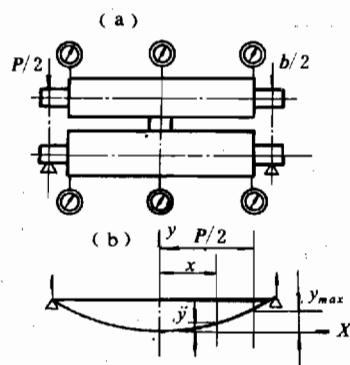


图1-15-50 用试验法求普通结构辊的刚度及中高度

(a) 辊筒上的载荷和测量点 (b) 挠度计算图

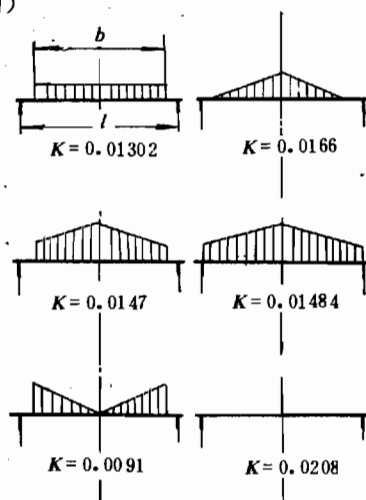


图1-15-51 压区压力分布状态与挠度计算式的常数系数 K

b — 辊面宽度 l — 压辊轴承中心距 K — 常数系数

(八) 辊面胶层对辊筒中高的影响计算

【说明】 在多数纸机的每个压区中几乎总是有一个包覆有橡胶面层的辊筒,而在计算压辊的挠度与中高度时又多数不考虑其胶层的存在,显然,这是不合理的,因为辊面胶层在正中横截面上与辊面两端处受到了不同程度的挤压。为此,这就需要补偿,以求更符合于压区的实际情况。对此,加莱脱(F. A. Garrett)提出了一个经验公式,他认为包胶压榨辊必须还要加入一个附加的中高度 K_b ,之后,把 K_b 加到原计算所得的中高度 K 上去,再把 $(K + K_b)$ 的总中高度分配给构成压区的两个辊筒。但分配时主张对辊面较软的辊筒以较大的中高度(约占55~70%),对硬辊则分配较小的中高度(约占30~45%)。

【公式】

$$K_{总} = K + K_b \quad (1-15-410)$$

式中 K_{Σ} ——压辊总中高度(m)
 K ——不包胶时压辊总中高度(m)
 K_b ——包胶后附加中高度(m)

$$K_b = \frac{1.07 f_{\max}^{0.5}}{D^{0.51}} (\text{in}) \quad (1-15-411)$$

D ——辊面胶层用1/8in 钢球测得的硬度(P&J 度)

f_{\max} ——有胶层的压榨辊的计算最大挠度(in)

【注意】 包胶压榨辊的中高度还可由周长中高度表示(见式1-15-392);式1-15-411为一英制单位,所得结果应注意换算(1in=0.0254m)。

(九)压榨辊中高的校核计算

【说明】 压榨辊的中高度磨好后,应在与工作条件相同的载荷下进行校核,校核的方法有两种。

1. 压痕法

【说明】 该法极为简单,但要在停机时方能进行。其校核方法如下:取数张蓝复写纸(或其它压敏材料)沿压辊全宽或分别置于下压辊的两侧和中央部位,慢慢放下上压辊,使与下辊接触,然后根据正常操作施以附加压力,历时数秒钟后,撤去附加压力,并稍微抬起上压辊。取出复写纸(或压敏材料),分别准确量取全宽或中央及两侧三个部位的压痕宽度。如发现中央部位的压痕较宽,两端压痕较窄,即说明了压榨辊中高过大;如两侧压痕较宽,中央部位压痕较窄,则说明中高不足;如果一端压痕较窄,中央部位稍宽,另一端更宽,则说明加压情况不均匀,甚至压辊的安装有问题,需要重新校正。

发现校正后压区宽度不均匀时,应校正压榨辊的中高度,可按下式求出中高的校正值。如果校正值系正值,则应加到两辊的总中高度上去;如是负值,则应自总中高度中减去此值。

【公式】

$$K_c = \frac{(b_1^2 - b_2^2)(D_s + D_x)}{2D_s D_x} \quad (1-15-412)$$

式中 K_c ——中高校正值(mm)

b_1 ——端部压痕宽度(mm)

b_2 ——中部压痕宽度(mm)

D_s ——上压辊直径(mm)

D_x ——下压辊直径(mm)

【例】 下压辊直径760mm,上压辊直径610mm,如测得端部压痕宽度为53.4mm,中央部位压痕宽度为50.8mm,则中高校正值应为:

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{(b_1^2 - b_2^2)(D_s + D_x)}{2D_s D_x} \\ &= \frac{(53.4^2 - 50.8^2)(610 + 760)}{2 \times 610 \times 760} \\ &= 0.4 (\text{mm}) \end{aligned}$$

根据计算结果,压榨辊中高度应增加0.4mm。

2. 测定水分法

【说明】 在实际生产中,通过测定离开压榨装置的纸幅两侧和中间部位的水分含量,

即可确定压辊的中高是否合适。如果三者水分存在差异,则说明中高度不合适。

(十)中高度的应用计算

【说明】 增大压辊的中高,可以补救纸页烘干后“中间湿、两边干”的现象。

在某些较老式的造纸机上,由于烘干部的烘缸两端通风条件优于其中间部位,以致纸幅两边的干度较高,易造成纸页向中间卷曲,因此,最好在压榨部位进行补救,即有意识地使纸幅两边在压榨中脱水量少一些,为此,就要有略大一些的中高度,使压榨压区在中间部位有较大的压力。具体的办法是适当调整辊面的最大挠度计算公式(式1-15-413)中的常数系数 K ,来使辊筒的计算挠度改变,再据此磨出相应的中高即可,而改变的系数 K 值则是相应于不同的压区压力分布状态而不同的。

【公式】

$$f_{\max} = K \frac{qb^4}{E_1 I_1} \left(1 + \frac{24}{5} \frac{c}{b}\right) \quad (1-15-413)$$

式中 f_{\max} ——辊面段的最大挠度(m)

K ——不同压区压力状态下的系数;对于压力是沿辊面均布的状态,则 $K = \frac{5}{384} = 0.01302$;对于不同压区的压力分布状态其相应的 K 值见图1-15-51

q ——辊面均布载荷(N/m)

b ——辊面宽度(m)

$E_1 I_1$ ——辊筒刚度(N·m²)

c ——辊面边缘至辊筒轴承中心的距离(m)

(十一)生产中常用中高参考数据

【说明】 生产中不同抄造条件下(压辊长度、车速、生产纸种及定量)常用中高的数据可参考表1-15-33和表1-15-34。

表1-15-33 生产中常用中高参考数据

抄造条件	压辊名称	直径 (mm)	中高 (mm)	硬度 (肖氏)	线压力 (N/cm)	偏心距 (mm)
辊长2220mm	压榨(I)	450	0.42	85	196~245	75
抄速100m/min	压榨(II)	450	0.46	85	245~294	55
生产打字纸	挤水辊	300	0.7	85	118~147	
定量30g/m ²	压光辊	400	0.14	85	98	
辊长2550mm	软胶辊	365	0.254	32~35		
抄速40m/min	压榨(I)	416	0.889	85	475	88.9
生产浆板	压榨(II)	416	0.889	85	494	63.5
定量400g/m ²	压榨(III)	416	0.889	85	503	38.1
辊长3230mm	压榨辊	550	2.108	90	647	59
抄速147m/min	托辊	600	1.575	89	281	1280
生产1号有光纸	上伏辊	640	0.254	82~84		163
	挤水辊	352	0.762	88		
定量30g/m ²	挤水辊	370	1.524	88		
辊长1092mm	压榨(I)	370	0.254	88	294	75
抄速70m/min	压榨(II)	370	0.254	88	294	
生产板纸	托辊	380	0.443	99		
定量200g/m ²						
辊长3030mm	压辊(I)	559	1.0668	85	245~294	130
抄速187m/min	压辊(II)	559	1.0668	85	294~343	90
生产凸版印刷纸	挤水辊	345	1.143	85	206	
定量52g/m ²	光泽辊	404	0.254	85	118~167	
	伏辊	350	0.254	35		

伯拉辛佟中高表(在不大线压力下)

(mm)

桩径	在下 列 桩 长 时 的 中 高																							
	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500	5750	6000	6250
150	0.15	0.48	1.07	1.45	3.30	5.25	3.50	5.00																
200	0.07	0.20	0.45	0.82	1.37	2.25	1.80	2.55																
250	0.02	0.10	0.22	0.42	0.75	1.17	1.05	1.47	3.50	4.50	5.90													
300	0.02	0.05	0.12	0.25	0.42	0.67	0.65	0.93	2.02	2.62	3.43	4.38	5.38											
350		0.02	0.10	0.17	0.27	0.42	0.45	0.65	1.28	1.65	2.16	2.75	3.42	4.20	5.15									
400		0.02	0.07	0.12	0.20	0.30	0.33	0.45	0.90	1.15	1.50	1.92	2.40	2.95	3.60	4.30	5.05							
450		0.02	0.05	0.10	0.15	0.22	0.22	0.33	0.62	0.85	1.08	1.35	1.68	2.08	2.53	3.02	3.58	4.25	4.93	5.70				
500			0.02	0.07	0.10	0.15	0.17	0.25	0.45	0.60	0.78	0.97	1.22	1.50	1.83	2.18	2.60	3.05	3.55	4.18	4.73	5.42		
550			0.02	0.05	0.07	0.12	0.15	0.20	0.35	0.47	0.60	0.75	0.92	1.15	1.40	1.68	1.97	2.35	2.75	3.18	3.64	4.15	4.75	5.38
600				0.02	0.07	0.10	0.10	0.15	0.27	0.37	0.47	0.60	0.75	0.92	1.12	1.35	1.60	1.88	2.16	2.50	2.85	3.20	3.65	4.13
650				0.02	0.05	0.07	0.07	0.12	0.22	0.30	0.37	0.47	0.62	0.77	0.92	1.10	1.28	1.50	1.75	2.02	2.33	2.68	3.05	3.43
700				0.02	0.05	0.05	0.07	0.10	0.17	0.22	0.30	0.37	0.47	0.57	0.70	0.82	1.00	1.18	1.38	1.60	1.83	2.08	2.40	2.70
750					0.02	0.05	0.05	0.07	0.15	0.17	0.25	0.30	0.37	0.47	0.57	0.67	0.80	0.95	1.10	1.28	1.48	1.70	1.93	2.18
800					0.02	0.02	0.05	0.07	0.12	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.47	0.55	0.65	0.78	0.90	1.05	1.20	1.38	1.70	1.93
850						0.02	0.02	0.05	0.10	0.12	0.15	0.20	0.25	0.33	0.40	0.45	0.55	0.65	0.75	0.88	1.00	1.15	1.30	1.48
900									0.07	0.10	0.12	0.17	0.20	0.27	0.35	0.40	0.47	0.55	0.62	0.73	0.82	0.95	1.05	1.23

八、压榨辊的磨削计算

(一)软胶辊的磨削计算

【说明】软胶辊的硬度低,弹性大,在磨削软胶辊时,砂轮的横进给对压辊的径向压力有一部分被胶辊的弹性抵消。

1. 砂轮对压辊的压力被胶层的抵消的程度计算

【公式】

$$F = \frac{T}{P} \quad (1-15-414)$$

式中 F —— 所抵消的压力

T —— 胶层的弹性

P —— 砂轮对压辊胶层的压力

【讨论】从上式看出,当砂轮对压辊胶层的压力一定时,弹性越大,则所抵消的值也越大。因此,砂轮对压辊胶层的横进给量,并不是实际磨削量。

2. 砂轮磨削胶辊的实际磨削量的计算

【公式】

$$G = Q - \delta \quad (1-15-415)$$

式中 G —— 实际磨削量(mm)

Q —— 砂轮对辊面的横进给量(mm)

δ —— 胶辊面受砂轮压力而被压缩的量(mm)

3. 砂轮的磨削能力被润滑能力所抵消的计算

【说明】用清水作冷却润滑剂,磨削软胶辊,特别是磨削40度(肖氏)以下的软胶辊,磨削效率极低,其原因是清水的润滑能力,几乎全部抵消了砂轮的磨削能力。砂轮的磨削能力被清水的润滑能力所抵消的值可作如下计算。

【公式】

$$E = \frac{S}{m} \quad (1-15-416)$$

式中 E —— 所抵消程度的值

S —— 清水的润滑能力

m —— 砂轮的磨削能力

【讨论】由式可看出,当砂轮的磨削能力 m 值一定时,清水的润滑能力越大,则所抵消的值也越大。实践证明,清水的润滑能力,在很大程度上抵消了砂轮对软胶辊的磨削能力,从而使磨削效率极低。所以,干磨削是磨削软胶辊的唯一方法。

4. 铁皮木轮刺刃的制作计算

【说明】由于软胶辊面的弹性大,车削困难,车削后辊面的精度很低,磨削时所留下的磨削余量过大,造成磨削时间过长,因而在生产实际中研制成了铁皮木轮这一专用工具(见图1-15-52)。铁皮在木轮外圆面的部分,有很多沿木轮径向向外伸出的刺刃,铁皮木轮就是通过这些刺刃,来磨削软胶辊的,其有关制作程序及计算见下。

(1)把铁皮剪成如下宽度

【公式】

$$b_1 = b + 10 \quad (1-15-417)$$

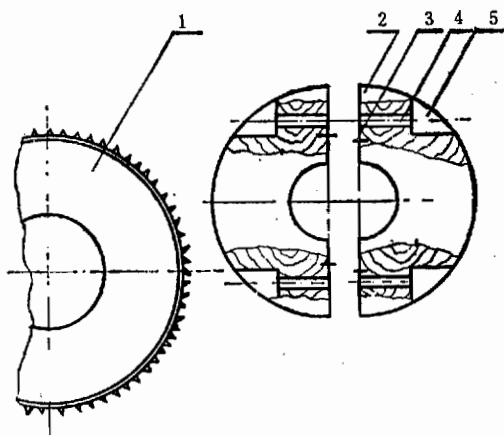
b ——木轮宽度(mm)

【公式】

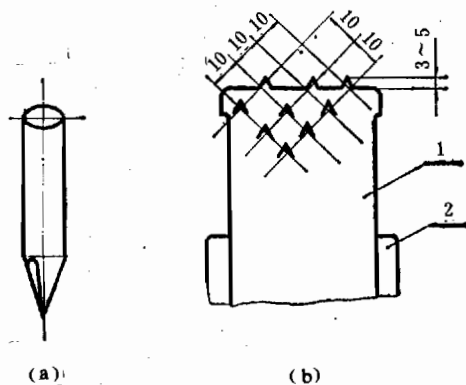
$$L = \pi D \quad (1-15-418)$$

D ——木轮直径(mm)

(3) 再将铁皮铺在放平的木板上,用磨成三角形的钢冲(见图1-15-53a)在铁皮上冲出对角线长4~5mm的孔,孔的排列应交叉成菱形,孔的间距为10mm。冲孔完毕后,铁皮的背面即制成了众多的刺刃,刃的高度为3~5mm(见图1-15-53b)。铁皮的刺刃向外,用铁钉及木螺丝将铁皮紧固在木轮的外圆表面上,再将铁皮比木轮宽出的2×5mm,分别用锤贴平砸在木轮的两个端面上即成。



1—铁皮 2—木轮 3—铁钉 4、5—螺栓孔



(a)钢冲 (b)刺刃结构 1—铁皮 2—盘

【说明】 干磨削只适用于软胶辊和纸粕辊的磨削。在干磨削过程中,砂轮的转速较胶辊转速高得多,一般情况下,前者比后者大80~100倍。

【公式】

$$V_1 = (\frac{1}{80} \sim \frac{1}{100})V_2 \quad (1-15-419)$$

 V_2 ——砂轮的转速

(二) 中高在压辊各部位的分布计算

【说明】 中高在压辊辊面全长度各对称位置的数值,也就是中高的分布。如图1-15-54所示,从图中可以看出,压辊长度中间位置 O 两侧的 $1、1'、2、2'、3、3' \cdots n、n'$, 为间隔相等的对称位置。在测量压辊中高时,也需要测量相当数量的对称间隔位置的中高数值。间隔的多少应视压辊的精密程度而定,精度要求高的,间隔应多分。中高的分布一般采用中高比值 K_g 来计算。如图1-15-55所示,该图中的计算系数,适应压辊辊体强度较好的压

辊。

【例】 如图1-15-54及图1-15-55所示,计算辊径 $D = 700\text{mm}$, 辊长 $b = 3380\text{mm}$, 中高 $K = 0.24\text{mm}$

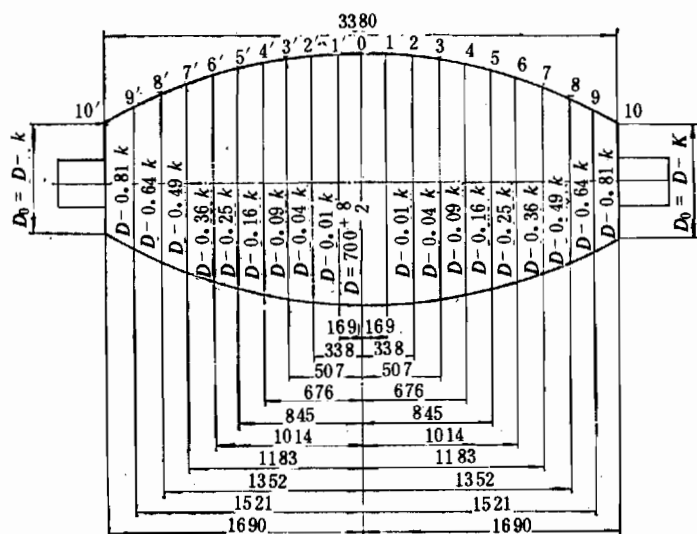


图1-15-54 辊径700mm、辊长3380mm 的中高分布图

D —压辊长度中间位置直径 D_0 —压辊两端测量位置直径 K —中高

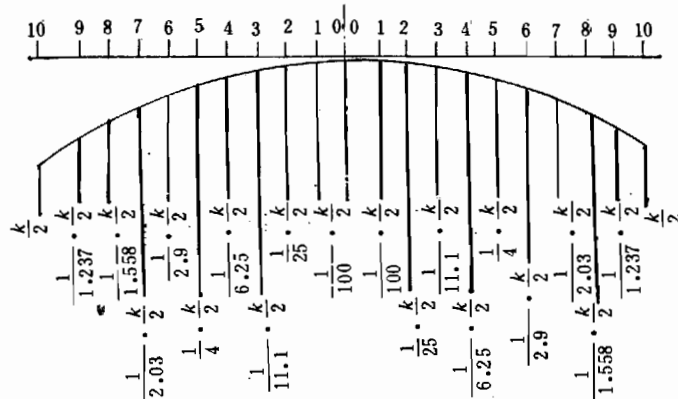


图1-15-55 用中高比值 K_B 计算中高分布的辊子的中高分布。

解:因间隔1~0为169mm,所以间隔1位置的中高为:

$$0.01K = 0.01 \times 0.24 = 0.0024(\text{mm})$$

故辊子间隔1位置直径应为:

$$700 - 0.0024 = 699.99(\text{mm})$$

同理,间隔0~4为676mm,故在间隔4的位置上的中高为:

$$0.16 \times 0.24 = 0.0384(\text{mm})$$

故在间隔位置4上的辊径为:

$$700 - 0.0384 = 699.9616(\text{mm})$$

【注意】 因为压辊的长度是随纸机的抄宽而定的,所以,各种压辊的长度不相同,上例中的中高分布系数,仅适用于相同长度的压辊。

(三) 压辊各部位的中高比值计算

【说明】如图1-15-54和图1-15-55所示,各间隔位置所占中高的比值,称为中高比值,以 K_B 表示。将各 K_B 的值标在坐标图上,各 K_B 点的连线就是中高曲线。

【公式】

$$K_B = \frac{K_n}{K} \quad (1-15-420)$$

式中 K_B —— 中高比值

K —— 辊子中高(mm)

K_n —— 间隔位置所占的中高(mm)

【例】在图1-15-54中,其第4间隔所占中高 K_4 为0.0384mm,其所占中高的比值为:

$$K_{B4} = \frac{0.0384}{0.24} = \frac{1}{6.25}$$

第6间隔位置,所占中高 K 为0.084mm,其所占中高的比值为:

$$K_{B6} = \frac{0.084}{0.24} = \frac{1}{2.9}$$

同理,按图1-15-55,在压辊的 $\frac{1}{2}$ 长度上,分为10个间隔,各间隔的中高比值见表1-15-35。

(四) 用中高比值计算中高在压辊上的分布

表1-15-35 辊径700mm,中高0.24mm 压辊的各间隔的中高比值

间隔位置	1	2	3	4	5
K_n (mm)	0.0024	0.0096	0.0216	0.0348	0.06
K (mm)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
K_B	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{11.1}$	$\frac{1}{6.25}$	$\frac{1}{4}$
间隔位置	6	7	8	9	10
K_n (mm)	0.084	0.118	0.154	0.194	0.24
K (mm)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
K_B	$\frac{1}{2.9}$	$\frac{1}{2.03}$	$\frac{1}{1.558}$	$\frac{1}{1.237}$	1

【说明】用中高比值 K_B 计算中高在压辊上的分布是生产中经常用到的。压辊上每个间隔位置的中高 K_n ,应当等于或接近中高比值 K_B 与中高 K 的乘积。

【公式】

$$K_n = K_B K \quad (1-15-421)$$

式中符号含义及单位同式1-15-420

【例1】某辊的中高 $K = 0.24\text{mm}$, $K_{B5} = \frac{1}{4}$, 则:

$$K_5 = \frac{1}{4} \times 0.24 = 0.06(\text{mm})$$

【例2】某辊中高 $K = 1.2\text{mm}$, 间隔位置为第8, 中高比值 $K_{B8} = \frac{1}{1.558}$, 求 K_8 。

解: $K_s = 1.2 \times \frac{1}{1.558} = 0.71(\text{mm})$

【注意】当中高装置的凸轮等零件完好无损,并且运转无故障时,压辊上磨削出的中高曲线必然准确。如果通过中高比值 K_s , 检验出压辊中高曲线不正确, 应检查中高装置零件是否完好及中高装置的安装或操作是否妥当等。

(五) M_{8408A} 滚筒磨床中高装置的计算

【说明】 M_{8408A} 滚筒磨床中高装置如图1-15-56所示。根据其结构的几何形状及尺寸, 可得出该装置的运动计算公式。

【公式】 $K = 235 \tan \alpha$ (1-15-422)

$\tan \alpha = \frac{ab}{250(1060 + a)}$ (1-15-423)

式中 K —— 辊子中高(mm)

α —— 由菱形铁块在摇臂上调整位置而定(mm)

b —— 菱形铁与砂轮架座接触点原位置 A 与运动后新位置 A' 间的垂直距离(mm)

1060 —— 为拖板回转中心 O 至摇臂回转中心 E 的距离(mm), 为常数

250 —— 摇臂回转中心到凸轮垂直中心线的距离(mm), 为常数

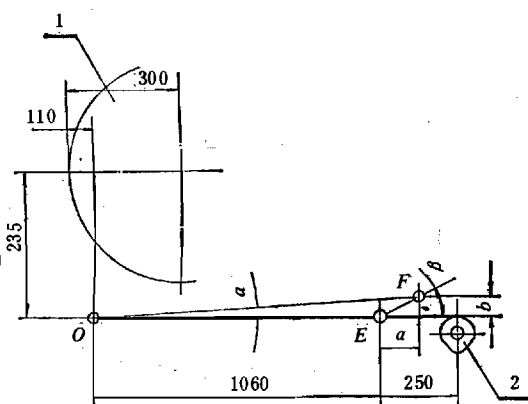


图1-15-56 M_{8408A} 滚筒磨床的中高装置运动图
1—砂轮 2—凸轮

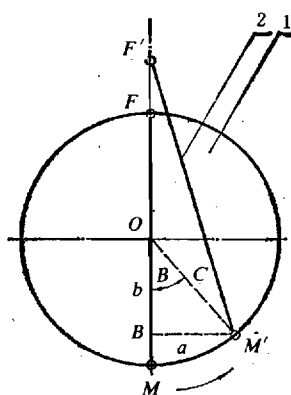


图1-15-57 中高外圆磨床中高装置的转盘旋转前后的关系
1—转盘 2—杠杆

【讨论】从上式可看出, α 值越小, 其中高也越小; α 值越大, 其中高也越大。为了便于比较, 现将计算结果列于表1-15-36。这些数据也是调整中高装置上菱形块 F 相对摇臂旋转中心 E 的距离的依据, 即菱形块 F 越靠近摇臂回转中心 E 点, 则磨削出的压辊中高 K 越少; 相反, 磨削中的压辊中高 K 越大。

表1-15-36 M_{8408A} 滚筒磨床的中高装置的中高量与调整位置的关系 (mm)

凸轮升程 b	9.5	9.5	9.5	9.1	9.1
a	200	195	190	150	135
中高 K	1.4175	1.3875	1.3574	1.0604	0.96635

(六) 中高外圆磨床的中高装置计算

【说明】由图1-15-57可知道中高外圆磨床的中高装置的转盘旋转前后的关系。 O 点为转盘的圆心, MF 为垂直杠杆运动前的位置, $M'F'$ 为垂直杠杆运动后的位置, $MF =$

$$M'F' = D$$

1. 转盘的旋转角的计算

【公式】

$$\beta = \frac{Z+1}{N} \times \frac{360}{M} \quad (1-15-424)$$

式中 β —— 转盘的旋转角(度)

Z —— 齿条在 $\frac{1}{2}$ 压辊长度上的齿数(依所磨削的压辊长度而定)

N —— 与齿条啮合的齿轮齿数

M —— 蜗轮的齿数

2. 垂直杠杆上端与水平杠杆连接点上升的数值的计算

【说明】 转盘旋转 β 角后,使垂直杠杆上端与水平杠杆连接点上升的数值 FF' 的计算如下。

【公式】 $\sin\beta = \frac{a}{c} \quad (1-15-425)$

$$a = \sin\beta \cdot C \quad (1-15-426)$$

$$b = \cos\beta \cdot C \quad (1-15-427)$$

$$BF = \frac{FM}{2} + b \quad (1-15-428)$$

$$BF' = \sqrt{(M'F')^2 - a^2} \quad (1-15-429)$$

$$FF' = BF' - BF = \sqrt{(M'F')^2 - a^2} - \left(\frac{FM}{2} + b\right) \quad (1-15-430)$$

式中符号含义及单位见图1-15-57

3. 根据水平杠杆的运动规律求磨削出的中高值

【说明】 水平杠杆的运动见图1-15-58,砂轮与砂轮刀架运动如图1-15-59。

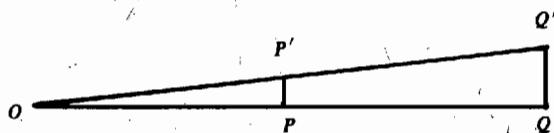


图1-15-58 水平杠杆运动图

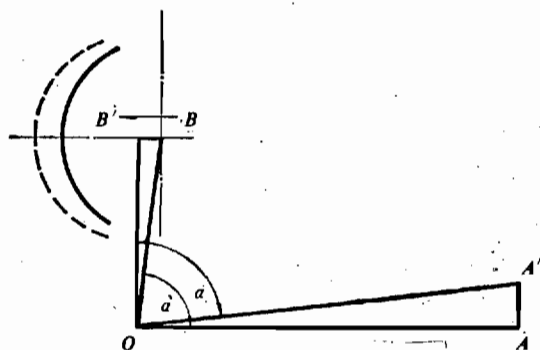


图1-15-59 砂轮与砂轮刀架运动图

【公式】

$$K = 2BB' \quad (1-15-431)$$

$$BB' = \frac{AA' \cdot Bo}{Ao} \quad (1-15-432)$$

$$AA' = PP' \quad (1-15-433)$$

$$PP' = \frac{QQ' \cdot PO}{QO} \quad (1-15-434)$$

$$QQ' = FF'$$

式中 K ——磨削出的中高值(mm)

BB' ——砂轮的横进给量(mm)

其它同上

【例】 有一压辊长度 $b = 116\text{in}$, 转盘直径 $D = 25.4\text{mm}$, $\frac{1}{2}$ 压辊长度内的齿条齿数 $Z = 87.3125$, 齿轮齿数 $N = 36$, 蜗轮齿数 $M = 60$, 水平杠杆中 $QO = 910\text{mm}$ (本设备第五支点孔的距离尺寸), $PO = 400\text{mm}$, $C = \frac{D}{2} = 12.7\text{mm}$, 砂轮与砂轮座的运动中 $AO = 1000\text{mm}$, $BO = 350\text{mm}$ 。求磨削的中高量。

解:

$$\beta = \frac{Z + 1}{N} \cdot \frac{360}{M}$$

$$= \frac{87.3125 + 1}{36} \times \frac{360}{60}$$

$$= 14^\circ 19'$$

$$\alpha = \sin \beta \cdot C$$

$$= \sin 14^\circ 19' \times 12.7 = 0.24728 \times 12.7$$

$$= 3.14046(\text{mm})$$

$$b = \cos \beta \cdot C$$

$$= \cos 14^\circ 19' \times 12.7 = 0.96907 \times 12.7$$

$$= 12.30718(\text{mm})$$

$$BF = b + \frac{FM}{2} = b + c$$

$$= 12.30718 + 12.7$$

$$= 25.00718(\text{mm})$$

$$BF' = \sqrt{(MF')^2 - \alpha^2} = \sqrt{D^2 - \alpha^2}$$

$$= \sqrt{25.4^2 - 3.14046^2}$$

$$= 25.2092(\text{mm})$$

$$FF' = BF' - BF$$

$$= 25.2092 - 25.00718 = 0.20202(\text{mm})$$

$$\therefore \frac{QO}{PO} = \frac{QQ'}{PP'} = \frac{FF'}{PP'}$$

$$\therefore PP' = \frac{PO \cdot FF'}{QO} = \frac{400 \times 0.20202}{910} \\ = 0.088(\text{mm})$$

$$\therefore \frac{AO}{BO} = \frac{AA'}{BB'} = \frac{PP'}{BB'}$$

$$\therefore BB' = \frac{BO \cdot PP'}{AO} = \frac{350 \times 0.088}{1000} \\ = 0.0308(\text{mm})$$

$$\text{故 } K = 2BB'$$

$$= 2 \times 0.0308$$

$$= 0.0616(\text{mm})$$

(七) M₁₄₀₈ 滚筒磨床的中高装置调整查图计算

【说明】对于 M₁₄₀₈ 滚筒磨床的中高装置的调整可以用查图的方法进行。该法比较简单,可以根据有关数据,直接查出中高数值。

【方法】按已知的压辊辊长 L ,在图 1-15-60 或图 1-15-61 上查出中高数值表上最大指针读数 150 时所对应的中高 K_{150} ,然后求出图纸所要求的中高 K 对 K_{150} 的百分数 $\frac{K}{K_{150}} \times 100\%$,最后在图 1-15-62 上查得中高数值表的指针读数。

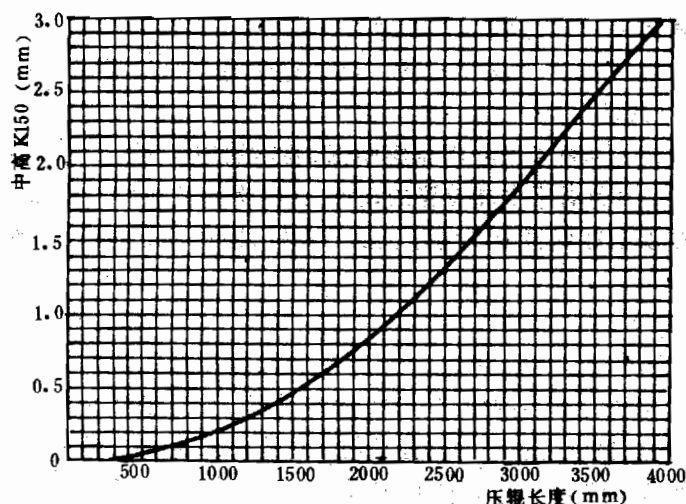


图1-15-60 调换齿轮为45:45,压辊长度与中高 K_{150} 的关系

【例】已知压辊长度 $b = 2500\text{mm}$,图纸要求的中高 $K = 0.8\text{mm}$,调换齿轮 $Z = 15:45$,在图1-15-61上查得 $K_{150} = 1.32\text{mm}$,则:

$$\frac{K}{K_{150}} \times 100\% = \frac{0.8}{1.32} \times 100\% = 60.5\%$$

以60.5%在图1-15-60上查得中高数值表上指针读数(滚子位置)为81mm。

【注意】由于机床零件尺寸在安装中的误差,以及传递运动的误差,试磨后,按实际测量值需略加修正。

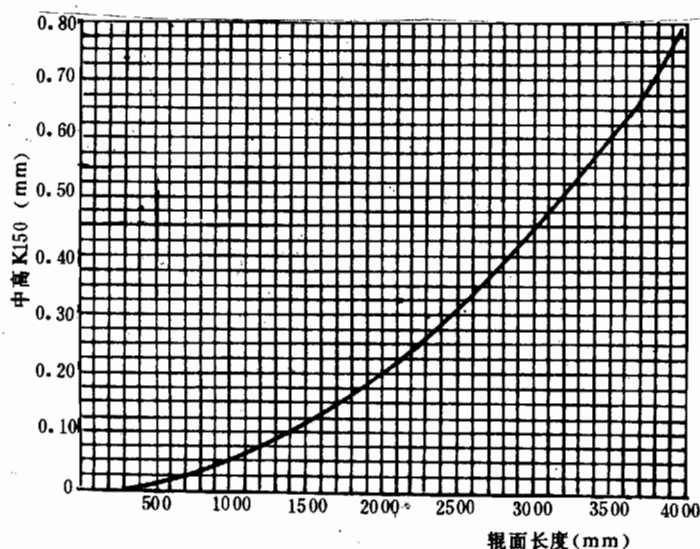


图1-15-61 调换齿轮为30·60,压辊长度与中高 K_{150} 的关系

(八) 中高装置磨削中高的近似计算

【说明】在实际工作中,用公式计算中高装置磨削的中高,很费时间,因而常采用近似算法,即比例算法。

【例】在 M_{1408} 滚筒磨床上磨削压辊中高,要求的中高 $K = 1.5\text{mm}$,压辊长度 $b = 2000\text{mm}$ 。根据 M_{1408} 滚筒磨床中高装置的设计,当压辊长度 b 为 4000mm 时,可磨削出中高 $K = 3\text{mm}$ 。依据以上数据将中高调整表上的指针,摇到表上的150读数位置,即可用比例法作近似计算:

$$4000:2000=3:K$$

$$\text{得 } K = 1.5(\text{mm})$$

【注意】用比例法计算出的中高,与实际磨削出的中高数值,有一定的误差,这个误差可以在磨削中,再调整中高装置给以修正使之达到要求的中高 K 。

(九) 中高装置磨削中高的表格记录法

【说明】在实际磨削压辊中高时,可以将每一个有中高的压辊,在达到要求的中高后,将其压辊长度、中高数值的部件位置、仪表的读数等记录下来,排列成表,作为再磨削相等长度、相等中高的压辊时,对中高装置调整的依据资料;压辊长度、中高近似的,也可以参考以上记录数据。

【例】对于中高滚筒磨床,可用表1-15-36的形式记录表格;对于 M_{1408} 滚筒磨床可用表1-15-37的形式记录表格。

【注意】表1-15-37和表1-15-38中的数据仅为示例,只供参考,因各单位滚筒磨床的结构尺寸不尽相同,所以,表中数据应根据实际,整理出本单位的数据表。

九、压榨偏心距的测定计算

【说明】生产中如出现上下压辊不压在一条直线上,产生斜向线压,不但会造成压榨

辊两端对湿纸幅所受压力不一致,脱水不均匀,还会给生产和产品质量带来不良影响。在此介绍一种判断上下压辊是否作用在一条直线上以压辊间偏心距的测定方法。

表1-15-37 中高滚筒磨床记录表 (单位:mm,辊长3250mm)

压 辊 名 称	压 榨 辊	托 辊	伏 辊	挤 水 辊
中高K	2.108	1.575	0.25	0.76
转盘半径	200	200	200	200
支点距离	400	400	100	170
转盘弧长	45°	30		

注:二次成形法,增大转盘旋转角 α' ,因为测量旋转角 α' 困难,多用测量转盘外圆上弧线的长度。

【方法】 首先,取下压榨辊毛毯,上压榨辊要落到下压榨辊辊面上严实无缝,不加附加压力。然后将上辊刮刀床吊下,在上辊两端向里300mm 的两侧,各用一根长直的杆子横放在上辊辊面上,并各系一根细线,下端拴上铅锤,使线紧靠在上辊面垂下(如图1-15-63所示)。这时即可测量垂线与下辊辊面间的距离L,如两端测得的距离相同,则说明上下辊压在一条直线上;反之,则没有压在一条直线上。偏心距的计算如下。

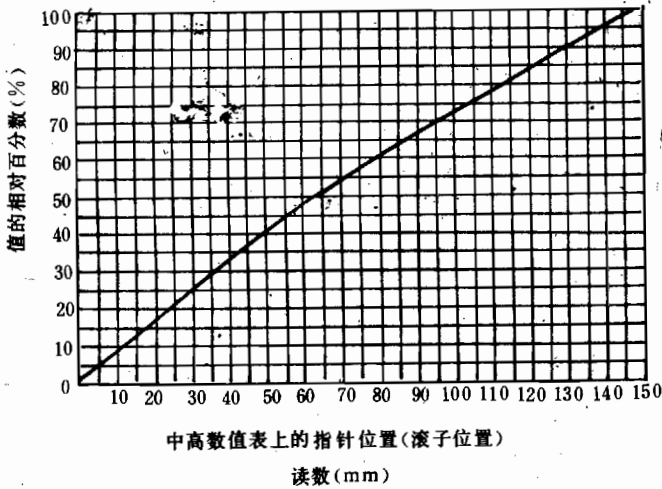


图1-15-62 中高数值表上的指针位置(滚子位置)与 K_{150} 值的相对百分数($\frac{K}{K_{150}} \times 100\%$)的关系

表1-15-38 M_{1408} 滚筒磨床中高磨削记录表 (单位:mm)

压 辊 名 称	压 辊 长	中 高 表 9	中 高	齿 轮 比
压榨辊	4000	150	3	45:45
压光机辊	2230	50	0.22	45:45
压光机辊	3150	37	0.10	60:30
压榨辊	2450	115	1.05	45:45

(一)双辊压榨偏心距的计算

【说明】 见图1-15-63

【公式】

$$Y = \frac{D_1}{2} - (\frac{D_2}{2} - L) = \frac{D_1 - D_2}{2} + L \quad (1-15-435)$$

式中 Y——偏心距(mm)

D_1, D_2 —— 下辊及上辊直径(mm)

L —— 垂线与下辊面间距(mm)

【例1】 真空下压榨辊直径 $D_1 = 740\text{mm}$, 上压榨辊直径 $D_2 = 570\text{mm}$, $L = 15\text{mm}$, 则偏心距为:

$$Y = \frac{D_1 - D_2}{2} + L = \frac{740 - 570}{2} + 15 = 100(\text{mm})$$

【例2】 下压榨辊 $D_1 = 600\text{mm}$, 上压榨辊 $D_2 = 700\text{mm}$, $L = 150\text{mm}$, 则偏心距为:

$$Y = \frac{D_1 - D_2}{2} + L = \frac{600 - 700}{2} + 150 = 100(\text{mm})$$

(二) 三辊压榨的偏心距的计算

【说明】 三辊压榨的两个压区压榨线压是否呈直线的判断方法与双辊压榨类同, 如图1-15-64所示。

1. 第一压区偏心距的计算

【公式】

$$Y_1 = \frac{D_1 - D_2}{2} + L_1 \quad (1-15-436)$$

式中 Y_1 —— 第一压区偏心距(mm)

D_1, D_2 —— 下辊和中间辊直径(mm)

L_1 —— 垂线(右)与下辊间距(mm)

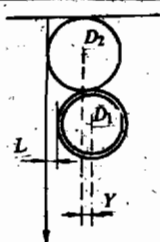


图1-15-63 双辊压榨偏心距测定图

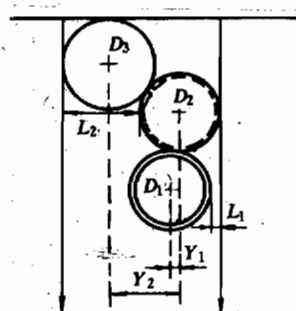


图1-15-64 三辊压榨偏心距测定图

2. 第二压区偏心距的计算

【公式】

$$Y_2 = \frac{D_2 - D_3}{2} + L_2 \quad (1-15-437)$$

式中 Y_2 —— 第二压区偏心距(mm)

D_3 —— 上辊直径(mm)

L_2 —— 垂线(左)与中间辊面的间距(mm)

【例】 如图1-15-64所示, 主动沟纹底辊 $D_1 = 620\text{mm}$, 真空传动辊 $D_2 = 700\text{mm}$, $L_1 = 120\text{mm}$, 上右辊 $D_3 = 800\text{mm}$, $L_2 = 450\text{mm}$, 则偏心距为:

第一压区偏心距:

$$Y_1 = \frac{D_1 - D_2}{2} + L_1 = \frac{620 - 700}{2} + 120 = 80(\text{mm})$$

第二压区偏心距:

$$Y_2 = \frac{D_2 - D_3}{2} + L_2 = \frac{700 - 800}{2} + 450 = 400(\text{mm})$$

十、沟纹压榨的工艺计算

(一) 沟纹理论充水率的计算

【说明】 沟纹压榨辊沟纹理论充水率是指在给定的纸种、浆种、进压区的纸幅干度、线压、毛毯特征、辊面材质和车速的条件下，自沟纹压区中脱出的水量对于沟纹容量的百分率。沟纹压榨辊的最佳沟纹尺寸见图1-15-65；最佳沟纹尺寸在不同的进出压区纸幅干度下的沟纹理论充水率见表1-15-39。

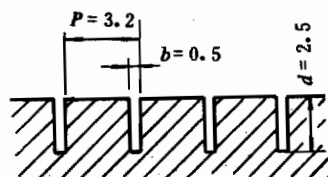


图1-15-65 沟纹压榨辊的最佳沟纹尺寸

【公式】

$$S = \frac{q(1-m)P(C_2 - C_1)}{10bdC_1C_2} \quad (1-15-438)$$

式中 S —— 沟纹充水百分率(%)

q —— 纸幅定量(g/m^2)

m —— 成纸水分(%)

P —— 沟纹压辊的沟纹间距(mm)；对于矩形沟纹间距一般在2.5~3.2mm

C_1, C_2 —— 纸幅进出压区时的干度(%)

b —— 沟纹宽度(mm)

d —— 沟纹深度(mm)

表1-15-39 最佳沟纹尺寸下在不同进出压区纸幅干度时沟纹理论充水率

($b = 0.5\text{mm}$, $d = 25\text{mm}$, $P = 3.2\text{mm}$)

进压区纸幅干度, (%绝干)	20	30	35
出压区纸幅干度, (%绝干)	30	35	40
纸种和定量	沟纹理论充水率(%)		
新闻纸(52g/m ²)	21.5	6.1	4.68
挂面纸板(204g/m ²)	84.3	24.15	18.3
浆板(730g/m ²)		86.3	66

(二) 采用沟纹压榨代替真空压榨的节能计算

【例】 某纸机压榨部的第二道压榨是正真空压榨，其线压力为600lb/in，车速为1500 ft/min，仅压榨部的传动和真空度所需的功率为4.152马力/h；如果将第二道真空压榨改为沟纹压榨，其线压力仍为600lb/in，则传动和真空度所需的功率为2.788马力/h，对250in宽的压榨部，如此能节约真空7500ft³/min，若每ft³的真空值0.001235美元，求：

① 每天可节约多少动力？

② 每年可节省真空运转费为多少美元？

(纸机按每年工作340天，每天工作22.5h计)

解：① 节约动力 = $(4.152 - 2.788) \times 22.5$
= 30.69(马力/d)

$$=22885.5(W/d)$$

$$=22.89(kw/d)$$

$$\begin{aligned}\textcircled{2}\text{节约资金} &= 7500 \times 340 \times 22.5 \times 60 \times 0.001235 \times 100 \\ &= 42515 (\text{美元/年})\end{aligned}$$

十一、毛毯及其校正的有关计算

(一)毛毯的定货长度计算

【说明】 定货长度 L 。即正常工作状态开始时的毛毯长度。

【公式】

$$L_0 = L_{\min} + \frac{1}{3}l \geq (1.05 \sim 1.067)L_{\min} \quad (1-15-439)$$

式中 L_0 —— 毛毯定货长度(mm)

L_{\min} —— 当毛毯张紧器上的张紧辊位于松弛端的极限位置时毛毯的最小理论长度(mm)

l —— 毛毯张紧器上张紧辊从松弛端移动至张紧端极限位置时所能达到的毛毯最大张紧量(mm);当毛毯在张紧辊上的包角为 180° 时:

$$L = 2l_{\max}$$

通常取: $L \geq (0.15 \sim 0.2)L_{\min}$

L_{\max} —— 张紧辊的最大行程(mm)

(二)毛毯的定货宽度计算

【说明】 毛毯定货宽度 b_m 指在正常工作状态下应有的宽度。

【公式】

$$b_{\max} > b_m > b_{\min} \quad (1-15-440)$$

式中 b_m —— 毛毯定货宽度(mm)

b_{\max} 、 b_{\min} —— 在毛毯全行程中所经过的各个辊筒中的最大及最小辊面宽度(mm);通常 b_{\min} 是最小的压榨辊面宽度; b_{\max} 是最大的毛毯导辊面宽。

(三)造纸机压榨部分两侧之间的净空宽度 b_k 的计算

【说明】 纸机压辊部分两侧之间的净空宽度与毛毯规格有密切关系,要按两侧机件的最靠中间部位的边缘来计算。例如,当造纸机布置在楼层上时压榨部分底规所在的楼层纵向大梁之间的净空宽度就是该两梁朝中间那面的表面之间的宽度。如有管路敷设在这一梁面上就应再扣除管子及其支架等的尺寸。对于底规上的压榨部分机架也应如此地计算净空宽度。

【公式】

$$b_k \geq b_{\min} + a \quad (1-15-441)$$

式中 b_{\min} —— 最小的压榨辊面宽(mm),同式1-15-440

a —— 为毛毯收缩而应留的裕量(mm);

$$a = 0.04b_{\min} \text{ 且 } a \geq 250\text{mm}$$

b_k —— 净空宽度(mm)

(四)毛毯挤水辊的面宽计算

【公式】

$$b = b_w + 100$$

(1-15-442)

式中 b ——普通毛毯挤水辊的面宽(mm)

b_w ——成形网宽(mm)

【附表】 普通毛毯挤水压榨的辊筒规格见表1-15-40

表1-15-40

普通毛毯挤水辊的辊筒规格

网宽(mm)	挤水下辊(mm)				挤水上辊(mm)			
	直径	壁厚	胶层厚度	轴颈直径	直径	壁厚	铜层厚度	轴颈直径
1000~1600	280	35	12	70	270	30	3	55
1601~2150	320	40	12	80	300	40	3	70
2151~2600	350	50	12	90	330	45	3	80
2601~3100	400	60	12	100	380	50	4	80
3101~3550	450	70	15	115	400	60	4	90
3551~4150	500	85	15	125	450	70	5	100
4151~4800	550	95	15	140	500	80	5	115
4801~5500	600	100	20	160	520	90	5	135
5501~6300	650	110	20	160	550	90	5	135

(五)毛毯空隙率的计算

【说明】 毛毯必须具有足够的空隙容积来吸收压区中从纸页压出的水分。空隙容积系指一种材料的内部空隙容积除以其总容积。对于单一品种材料织成的湿毯,其空隙容积可以下式表示。

【公式】

$$V = 1 - \frac{\text{织物密度}}{\text{纤维密度}} \quad (1-15-443)$$

式中 V ——空隙率(以小数表示)

(六)毛毯透气性与毛毯厚度的关系

【说明】 各种定量相同的毛毯,其透气性与毛毯厚度的关系见图1-15-66。

(七)真空洗毯器真空泵的选用

【说明】 真空洗毯器真空泵的生产能力按通过洗毯器缝隙的抽气量确定。抽气量又可以空气的重量流量和体积流量表示。

1. 空气的重量流量的计算

【公式】

$$G = \frac{c\gamma_H F(2 - P_B)P_B}{2\mu h} \quad (1-15-444)$$

式中 G ——空气的重量流量(g/s)

γ_H ——标准条件下的空气比重,取 $1.225 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ (1.225g/L)

C ——湿毛毯的透气度,依据所用毛毯每平方米的重量按表1-15-41来确定,透气度以达尔西单位表示;透气度的选择:对填料含量大的纸取最小值;对化学浆的纸及含磨木浆且填料含量小的纸取中值

F ——自由吸气区的面积(cm^2)

P_B ——真空室内的压力(绝对大气压)

μ —— 空气的运动粘度(m^2/s)

h —— 湿毛毯层的厚度(cm),按表1-15-42确定

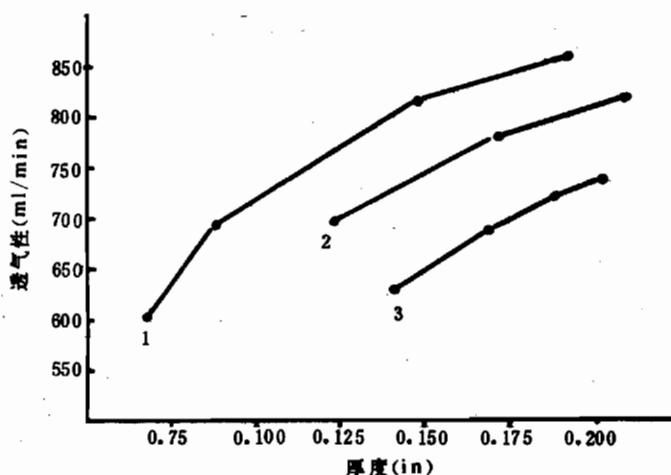


图1-15-66 各种相同定量的毛毯透气度与厚度的关系

1—传统毛毯 2—无织毛毯 3—底布针刺毛毯

表1-15-41

毛毯的透气度与定量的关系

毛毯定量 (g/m^2)	透气度(单位达尔西)		
	最小值	平均值	最大值
500	0.08	0.096	0.11
600	0.06	0.075	0.09
700	0.05	0.065	0.085
800	0.05	0.060	0.07

注:1达尔西 = $\frac{10^{-3}}{0.981} \text{cm}^2$

表1-15-42

不同定量的毛毯的厚度

毛毯的定量(g/m^2)	在下列载荷下(kg/cm^2)的毛毯厚度(mm)							
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
500	1.515	1.45	1.41	1.37	1.35	1.34	—	—
700	1.70	1.65	1.61	1.58	1.56	1.54	—	—
800	1.93	1.90	1.89	1.87	1.85	1.83	1.80	1.78

【例】某洗毯器抽气口有效截面积为 $F = 120 \text{cm}^2$, 透气度 $C = 0.65$ 达尔西, $\gamma_H = 0.001225 \text{g}/\text{cm}^3$, 真空室空气的温度 $T_1 = 30^\circ\text{C}$, 30°C 时空气的运动粘度 $\mu = 1.854 \times 10^{-4} \text{p}$, 真空室中真空度为 100mmHg , 真空度在 100mmHg 下毛毯的厚度 $h = 0.15 \text{cm}$. 求空气流量。

解:根据已知条件知:

100mmHg 的真空度折算成 $P_B = \frac{100}{760} = 0.132(\text{atm})$

将已知数据代入式1-15-444得:

$$G = \frac{C\gamma_H F(2 - P_B)P_B}{2\mu h}$$
$$= \frac{0.65 \times 0.00122 \times 120(2 - 0.132) \times 0.132}{2 \times 1.854 \times 10^{-4} \times 0.15}$$
$$= 42.8(\text{g/s})$$

2. 空气的体积流量的计算

【公式】

$$Q = \frac{G}{\gamma} \quad (1-15-445)$$

式中 Q —— 真空洗毯器的空气体积流量(L/s)

γ —— 温度 t 下空气的密度(g/L)

$$\gamma = \gamma_H \frac{T_H}{T_1} \frac{P_1}{P_H}$$

$$= 0.464 \times 10^{-3} \frac{P_1}{T_1} (\text{g/cm}^3)$$

$$= 0.464 \frac{P_1}{T_1} (\text{g/L})$$

(1-15-446)

T_H —— 标准条件下的绝对温度(K), 取288K(15℃)

P_H —— 标准大气压, 取760mmHg

T_1 —— 真空室内空气的温度(K)

P_1 —— 真空室内空气的压力(mmHg)

其它同上

【例】 在上例中, 真空室空气的压力为650mmHg, 求体积流量。

$$\text{解: } \because \gamma = \gamma_H \frac{T_H}{T_1} \frac{P_1}{P_H} = 0.464 \times \frac{P}{T_1}$$

$$= 0.464 \times \frac{650}{303}$$

$$= 0.995(\text{g/L})$$

$$\therefore Q = \frac{G}{\gamma} = \frac{42.8}{0.995} = 43(\text{L/s}) = 2.58(\text{m}^3/\text{min})$$

根据计算出的空气体积流量即可选用真空泵。

(八) 毛毯气动校正器的最大压力计算

【公式】

$$P = \frac{\omega^2 E h}{0.1156 a^3} \quad (1-15-447)$$

式中 P —— 最大压力(Pa)

ω —— 气动最大位移(mm)

E —— 弹性模量(Pa), 橡胶的弹性模量 $E = 7.84 \times 10^7 \text{Pa}$

h —— 胶膜厚度(mm)

a —— 胶膜半径(mm)

【例】 已知某纸机的气动校正装置的橡胶膜厚度 $h = 5\text{mm}$, 胶膜半径 $a = 94\text{mm}$, 气动最大位移 $\omega = 5\text{mm}$, 求最大气压。

解:
$$P = \frac{\omega^2 E h}{0.1156 a^2}$$
$$= \frac{5^2 \times 7.84 \times 10^7 \times 5}{0.1156 \times 94^3}$$
$$= 0.1 (\text{MPa})$$

(九)毛布的标准线弯斜的调整规律

【说明】 毛布标准线是指横贯整幅毛布的带颜色的纬线,毛布标准线弯曲妨碍毛布正常滤水,尤其是小范围内的较大弯曲对滤水的阻力更大,这是因为毛布的孔眼被拉斜而闭塞所造成的。发生压花时,特别是在标准线弯曲的部位压花时,要对弯曲的标准线进行校直,毛布用旧即将更换前更应及时的校直弯曲的标准线。但对于针刺毛布,因其在缩呢时标准线往往也会变弯,上机后如不影响滤水,不必进行调整。

毛布的标准线弯斜的调整,往往靠用一只被毛布包绕的辊子去改变毛布标准线的形状,这时,应注意两项规则,现以实例计算说明如下。

1. 规则一

【说明】 如果沿辊宽上某一段的表面速度快于其他区域,则与辊子较快的运行表面相接触的毛布的那部分就超前运行。

【例】 假设有一只直径为 0.8m , 中高为 0.0009m 的压榨辊,在 200m/min 的车速下运行,毛布长度为 16m ,毛布包绕中高辊成 90° ,则:

任一瞬间在辊边处与辊子接触的毛布长度为:

$$\pi d \cdot \frac{90}{360} = 3.1416 \times 0.8 \times \frac{90}{360} = 0.6283(\text{m})$$

在辊子中央,辊径从 0.8m 变成 0.8009m ,此处与辊子接触的毛布长度为:

$$3.1416 \times 0.8009 \times \frac{90}{360} = 0.6289(\text{m})$$

如果辊端的表面速度为 200m/min ,则辊子中央的速度为:

$$\frac{200 \times 0.6289}{0.6283} = 200.2(\text{m/min})$$

若不计打滑,在毛布上将有一个相应的速度差,所以毛布的中央标准线将以超前 0.2m/min 的速度运行。

2. 规则二

【说明】 如果毛布的长度在其幅宽上的某一点比别的地方短,则毛布在较短部位的那部分就超前运行。反之,在较长的部位上,毛布就滞后运行。

【例】 假设绕行上例中压榨的毛布长度在辊端上为 16m ,则辊子中央毛布的长度为:

$$16 + (0.6289 - 0.6283) = 16.0006(\text{m})$$

所以,在辊子的中央毛布将滞后,毛布每运行一周将滞后 0.0006m 。车速为 200m/min 时,其滞后:

$$\frac{200}{16} \times 0.0006 = 0.0075(\text{m/min})$$

【讨论】 从以上计算不难看出,第一条规则的效果比第二条规则的相反的效果要大。辊子中心处的毛布标准线以向前 0.2m/min 与滞后 0.0075m/min 之差超前运行。运行速

度为:

$$200 + (0.2 - 0.0075) = 200.1925(\text{m/min})$$

十二、刮刀的有关计算

(一)刮刀片长度的计算

【公式】

$$b_k = b + s + (20 \sim 30) \quad (1-15-448)$$

式中 b_k ——刮刀片长度(mm)

s ——刮刀摆动行程(mm)

b ——被刮辊的辊面宽(mm)

(二)刮刀体挠度的计算

【说明】刮刀体挠度的计算与前述的普通辊筒的挠度计算相似。

【公式】

$$f_{\max} = \frac{qb_k^3}{384EI}(12l - 7bg) \quad (1-15-449)$$

式中 f_{\max} ——刮刀体最大挠度(m)

q ——刮刀体均布载荷(N/m)

$$q = \frac{G'(1+r)}{b_k} \quad (1-15-450)$$

γ ——被刮辊筒作用于刮刀的力占刮刀全重的百分比(%),对于网部的刮刀可取 $\gamma = 10\%$;对于烘干部的刮刀可取 $\gamma = 30\%$

b_k ——刮刀体长度(m),在计算中亦可近似地取 $b_k \approx L$

l ——刮刀体轴承中心距(m)

G' ——刮刀的全重(包括刀片类和其他装设在刮刀体上的附加装置如白水挡板、防溅板、纸屑斗等的重量)(N)

$$G' = G + \Sigma G_i \quad (1-15-451)$$

G ——刮刀本体的重量,即刮刀与刀片夹等的重量之和(N)

ΣG_i ——装设在刮刀体上的各附加装置的重量之和(N)

E ——刮刀体材料的弹性模数(Pa)

I ——刮刀体截面对于中性轴的惯性矩(m^4),中性轴即刮刀体横向截面的平面内通过重心的水平轴线

(三)刮刀体的自由振动自然频率计算

【公式】

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{\max}}} \quad (1-15-452)$$

式中 f ——自然频率(周/s),在一般中低速纸机辊筒轴承和机架处测得的振动是属于低频率的,很少超过5周/s,故刮刀应设计成使其 f 值为7~8周/s

g ——重力加速度(9.81m/s^2)

(四)刮刀的临界转速计算

【公式】

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{f_{max}}} \quad (\text{L/s})$$

(1-15-453)

式中符号含义及单位同上

(五)刮刀在辊面上的线压力计算

【说明】 如图1-15-67所示,为典型的双辊压榨上部石辊的刮刀装置。其刮刀在辊面上的线压力计算如下。

【公式】

$$q = G \cdot \frac{a}{c} \cdot \frac{l}{b} \quad (1-15-454)$$

式中 q —— 线压力(N/m)

G —— 刮刀全重(N)

a —— 刮刀重心位置与轴颈中心的距离(m)

b —— 辊面宽度(m)

c —— 轴颈中心与刮刀片在辊面上的接触点之间的距离(m)

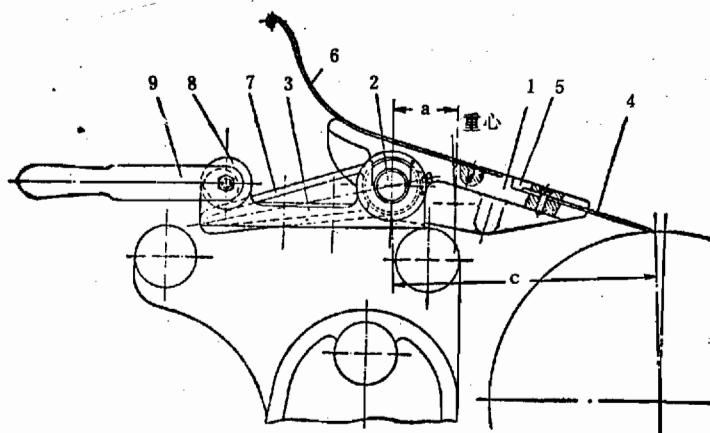


图1-15-67 压榨上辊刮刀

1—刮刀体 2—轴颈 3—刮刀架 4—刮刀片 5—压板 6—承纸槽 7—杠杆 8—偏心凸轮 9—抬刀手柄

第四节 干燥部的工艺计算

一、干燥过程的热量传递理论计算

(一)热传导的计算

【说明】 热传导是指通过介质(固体、液体或气体)中相邻分子间的能量传递而得到热量的流动。下式表示在稳态下热传导的关系。

【公式】

$$q_k = \frac{KA\Delta T}{L} = K_L\Delta T \quad (1-15-455)$$

式中 q_k ——单位时间内传导的热量(J/s)

K ——热传导系数[J/(m·K·s)]

A ——横截面积(m²)

ΔT ——温度差(K)

L ——测得温度差的两点的距离(m)

K_L ——热传导率[J/(K·s)]

$$K_L = \frac{AK}{L}$$

(二)辐射热的传递计算

【公式】

$$q_r = \sigma A_1 F(T_1^4 - T_2^4) \quad (1-1-456)$$

式中 q_r ——单位时间内的辐射热量(J/s)

σ ——Stefan-Boltzmann 常数, $\sigma = 5.75 \times 10^{-8} \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

A ——辐射表面积(m²)

F ——常数,与表面反射率和几何形状有关

T_1 ——辐射体绝对温度(K)

T_2 ——接受体绝对温度(K)

(三)对流传热量的计算

【说明】 对流兼有热传导的作用,并包括能量的贮存和混合运动;在固体和液体或气体之间的热量传递方面,对流起着重要作用。

【公式】

$$q_c = h_c A \Delta t \quad (1-15-457)$$

式中 q_c ——单位时间内的对流热量(J/s)

h_c ——对流热传递系数[J/(m²·s·K)]

A ——传热面积(m²)

ΔT ——表面和流体间的温度差(K)

(四)总传热系数的计算

【说明】 总传热系数的倒数等于各个传热系数的倒数的总和,参见图1-15-68。

【公式】

$$\frac{1}{h_0 A_0} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{L_c}{K_c A_2} + \dots + \frac{1}{h_a A_a} \quad (1-15-458)$$

式中 h_0 ——总传热系数[J/(m²·K)]

A_0 ——传热面积(m²)

其它符号含义见图1-15-68

(五)湿纸页干燥过程中单向瞬变热量流动方程式

【说明】 假设已知总传热系数,而且比热容、密度、体积和蒸发潜热都是恒定值,则单向瞬变热量流动方程式可用下式表示。

【公式】

$$\frac{1}{h_0} \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} = c \rho v \frac{\partial T}{\partial \theta} - \lambda \frac{\partial W}{\partial \theta} \quad (1-15-459)$$

式中 T —— 纸页温度(K)

x —— 在湿纸页上的距离(m)

C —— 湿纸页比热容[J/(kg·K)]

ρ —— 湿纸页的密度(kg/m³)

v —— 湿纸页的体积(m³)

λ —— 蒸发潜热(J/kg)

W —— 湿纸页的水分(%)

θ —— 时间(s)

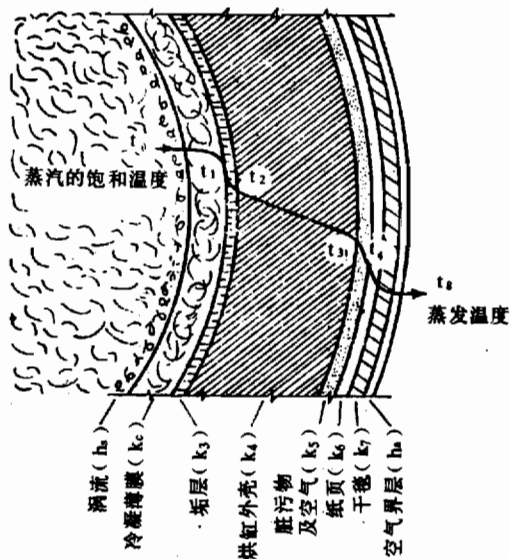


图1-15-68 纸机烘缸干燥过程示意图

(六)水分蒸发速率的计算

1. 表面张力效应导致的毛细管压力引起的蒸发速率的计算

【公式】

$$\frac{N}{A} = -D \frac{dc}{dy} \quad (1-15-460)$$

式中 N —— 单位时间内通过横截面积 A 的扩散物质的摩尔数

D —— 质量扩散率

C —— 物质浓度

y —— 沿扩散方向的距离

2. 考虑纸页表面蒸发水分时的蒸发速率计算

【公式】

$$\frac{N}{A} = K(P_1 - P_2) \quad (1-15-461)$$

式中 P_1 —— 界面水分的分压力

P_2 —— 空气中水蒸汽的分压力

K —— 质量传递系数

$$K = \frac{DP}{RTP_3(y_1 - y_2)}$$

(1-15-462)

P —— 绝对压力

R —— 理想气体常数

T —— 绝对温度

P_3 —— 非扩散组分分压的对数平均值

$y_1 - y_2$ —— 界面层厚度

二、干燥速率的计算

(一) 对流干燥的干燥速率计算

【说明】 对流干燥的干燥速率服从于道尔登方程式。

【公式】

$$\frac{d_w}{F d_t} = K_s (P_s - P_D) \frac{101300}{P} \quad (1-15-463)$$

式中 $\frac{d_w}{F d_t}$ —— 干燥速率 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

d_w —— 蒸发水量 (kg)

d_t —— 时间 (h)

F —— 蒸发面积 (m^2)

P_s —— 相当于蒸发温度的饱和蒸汽压 (Pa)

P_D —— 外界空气的水蒸汽分压 (Pa)

H —— 外界大气压力 (Pa)

K_s —— 自由表面蒸发系数, 其大小决定于空气的流速

$$K_s = 0.0229 + 0.0174V$$

(1-15-464)

V —— 蒸发表面上的空气速度 (m/s)

(二) 接触干燥的干燥速率计算

【公式】

$$\frac{d_w}{F d_t} = \frac{K(t_1 - t_2)}{r} = \frac{K(t_1 - t_2)}{i - i'} \quad (1-15-465)$$

式中 $\frac{d_w}{F d_t}$ —— 干燥速率 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

F —— 干燥面积, 即湿纸与烘缸表面接触的面积 (m^2)

K —— 总传热系数 [$\text{KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]

t_1 —— 缸内加热蒸汽温度 ($^\circ\text{C}$)

t_2 —— 缸面纸的温度 ($^\circ\text{C}$)

r —— 蒸发水汽的热含量 (kJ/kg)

i —— 蒸汽的热含量 (kJ/kg)

i' —— 缸内排出的冷凝水的热含量 (kJ/kg)

$$i' = Ct$$

(1-15-466)

C —— 水的比热 [$\text{KJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$], 取 $C = 4.1868$

t ——冷凝水的温度(°C)

其它同上

三、蒸发水量的计算

(一)每千克成纸中蒸发水量的计算

1. 干燥入口处1kg 绝干纤维含湿纸幅重量 G_n 的计算

【公式】

$$G_n = \frac{1}{C_n} \times 100 \quad (\text{kg 湿纸/kg 绝干纤维}) \quad (1-15-467)$$

式中 C_n ——干燥入口处纸页干度(%)

2. 干燥入口处1kg 绝干纤维的水分含量 W_n 的计算

【公式】

$$W_n = G_n - 1 = \frac{100 - C_n}{C_n} \quad (\text{kg 水/kg 绝干纤维}) \quad (1-15-468)$$

式中符号及含义同上

3. 抄成1kg 绝干纤维需除去水分的量 W_0

【公式】

$$W_0 = G_n - G_k = 100 \times \frac{C_k - C_n}{C_n C_k} \quad (\text{kg 水/kg 绝干纤维}) \quad (1-15-469)$$

G_k ——干燥部出口处湿纸幅重量(kg 湿纸/kg 绝干纤维)

C_k ——出干燥部纸页干度(%)

其它同前

4. 抄成1kg 成品纸需除去的水分 W

【说明】 假设纸页干度由 C_n 提高到 C_k 。

【公式】

$$\begin{aligned} W &= W_0 C_k \\ &= 100 \times \frac{C_k - C_n}{C_n C_k} C_k \\ &= \frac{C_k - C_n}{C_n} \quad (\text{kg 水/kg 成纸}) \end{aligned} \quad (1-15-470)$$

(二)烘缸单位有效面积蒸发水量(烘缸出力)的计算

【公式】

$$m = \frac{WG}{F} \quad (1-15-471)$$

式中 m ——每 m^2 烘缸有效面积蒸发水量[kg 水/($\text{m}^2 \cdot \text{h}$)]

F ——烘缸总有效面积(m^2), 见式1-15-475

W ——蒸发水量(kg 水/kg 纸)

G ——纸机每小时产量(kg 纸/h)

【例】 ZW₄型1760纸机, 烘缸直径为1250mm, 烘缸包角为230°, 烘缸个数19个, 蒸发水量为1.82kg 水/kg 纸, 纸机每小时产量780kg/h。求烘缸单位有效面积蒸发水量。

$$\text{解: } F = nF_1 = n \cdot \pi D b \frac{\alpha}{360} \quad (1-15-472)$$

$$=19 \times 3.14 \times 1.25 \times (1.76 + 0.4) \times \frac{230}{360}$$

$$=85.76(\text{m}^2)$$

$$\therefore m = \frac{WG}{F} = \frac{1.82 \times 780}{85.76}$$

$$=16.55[\text{kg 水}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

(三)干燥部被蒸发的水分重量计算

【说明】 根据工艺方面的要求,纸幅在离开压榨部时的水分含量一般在63~67%左右。就是说进入干燥部每1kg 湿纸幅中含有0.63~0.67kg 的水分和0.33~0.37kg 的干纸。这是以湿纸为基准(简称湿基)表示纸页中水分含量的方法,用 W 表示;另外还有一种以绝干纸为基准(简称干基)表示水分含量的方法,以 C 表示。在干燥过程中被蒸发的水分重量可由下式求得。

【公式】

$$W = G_1 \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \quad (1-15-473)$$

$$\text{或 } W = G_2 \frac{W_1 - W_2}{100 - W_1} \quad (1-15-474)$$

式中 W —— 被蒸发的水分重量(kg/h)

G_1 —— 进入干燥部的湿纸重量(kg/h)

G_2 —— 出干燥部的湿纸重量(kg/h)

$$G_2 = G_1 \frac{100 - W_1}{100 - W_2}$$

W_1 —— 干燥前纸中的水分含量,即湿基(%)

$$W_1 = \frac{W_{\text{水}}}{W_{\text{纸}} + W_{\text{水}}} \times 100\% \quad (1-15-475)$$

$W_{\text{水}}$ —— 干燥前纸页中水分重量(kg/h)

$W_{\text{纸}}$ —— 干燥前纸页中绝干纸重(kg/h)

W_2 —— 干燥后纸中的水分含量,即湿基(%),计算同 W_1

四、烘干部需要有效干燥面积的计算

【说明】 鉴于多烘缸的烘干部上纸幅干燥过程的复杂性,造纸机所需的有效干燥面积通常是采用单位指标法进行计算的。

【公式】

$$F = \frac{GW}{m} = \frac{G}{m} \left(\frac{C_2 - C_1}{C_1} \right) \quad (1-15-476)$$

式中 F —— 干燥部需要的烘缸干燥有效面积(m^2)

G —— 纸机每小时生产能力(kg 纸/h)

$$G = 0.06qBV \quad (1-15-477)$$

q —— 纸的定量(g/m^2)

B —— 卷纸机上纸的宽度(m)

V —— 纸机车速(m/min)

m ——烘缸单位出力[$\text{kg 水}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$], 见式1-15-481

W ——每生产1 kg 纸所蒸发的水量($\text{kg 水}/\text{kg 纸}$)

C_1, C_2 ——进、出干燥部纸的干度(%)

五、烘缸的有关计算

(一)烘缸的有效干燥面积计算

1. 每个烘缸的有效干燥面积计算

【公式】

$$F_1 = \pi DB \frac{\alpha}{360} \quad (1-15-478)$$

式中 F_1 ——每个烘缸的有效干燥面积(m^2)

D ——烘缸的直径(m)

B ——烘缸的有效宽度(m), 指造纸机铜网、压榨和烘缸三部分相适应、能够发挥烘干作用的最大有效宽度, 不论在生产中是否利用, 均应计为烘缸有效宽度, 而不应以抄宽或第一个烘缸上纸幅的宽度来确定烘缸的有效宽度

α ——烘缸被纸包住的角度(度)

【例】 某1760纸机烘缸直径为1250 mm , 烘缸包角为 230° , 求烘缸的有效干燥面积。

解:
$$F_1 = \pi DB \frac{\alpha}{360}$$
$$= 3.14 \times 1.25 \times (1.76 + 0.04) \times \frac{230}{360}$$
$$= 4.51(\text{m}^2)$$

2. 干燥部烘缸总有效干燥面积的计算

【说明】 烘缸有效总面积指造纸机能发挥作用的各个烘缸有效面积总和。不包括烘毯(帆布)缸及冷缸, 但因改变品种暂时不使用或只起导纸作用暂不通汽的烘缸有效面积应计在内。

【公式】

$$F = nF_1 \quad (1-15-479)$$

式中 F ——总有效干燥面积(m^2)

n ——烘缸个数

F_1 ——同上

(二)干燥部需烘缸个数的计算

【公式】

$$n = \frac{21.6qVW}{\pi \alpha m D} = \frac{F}{\pi DB \alpha} \quad (1-15-480)$$

式中 n ——烘缸个数

α ——烘缸被纸包住的角度(度), 通常 $\alpha = 225 \sim 235^\circ$

D ——烘缸直径(m)

q ——纸的定量(g/m^2)

V ——纸机车速(m/min)

W ——每生产1 kg 纸所蒸发的水量($\text{kg 水}/\text{kg 纸}$), 见式1-15-470

m —— 烘缸出力 [$\text{kg 水}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$], 见式1-15-481

α' —— 纸幅对烘缸的包角系数, 对一般两层排列的烘干部, $\alpha = 0.625 \sim 0.653$, (相应于 $225 \sim 235^\circ$ 的包角)

(三) 烘缸出力的计算

【说明】 烘干部的干燥能力是指烘缸单位有效面积、每小时蒸发的水量, 简称烘缸出力。烘缸出力可根据公式求得。然后与规范所规定的或常规烘缸出力相比较, 如果比规范所规定的大, 说明干燥能力不足, 需增加烘缸或降低车速。若预求烘缸个数, 可先确定烘缸出力, 然后再按公式1-15-480求出 n 。

烘缸的单位出力受到纸机类型、生产纸种、蒸汽压力、干燥温度、干布材料和张力、干布烘缸数目及其排列以及干部通风强度等的影响。表1-15-43列出了不同纸种的烘缸出力, 供参考。

【公式】

$$m = \frac{WG}{F} = \frac{C_k - C_n}{C_n} \cdot \frac{0.06qV}{n} \cdot \frac{360}{\pi D \alpha} \quad (1-15-481)$$

式中 m —— 烘缸出力 [$\text{kg 水}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

W —— 每生产 1kg 纸所蒸发的水量 ($\text{kg 水}/\text{kg 纸}$), 见式1-15-470

G —— 纸机的每小时产纸量 ($\text{kg 纸}/\text{h}$), 见式1-15-477

F —— 烘缸总有效干燥面积 (m^2), 见式1-15-479

C_n, C_k —— 分别为干燥部入、出口纸页的干度 (%)

n —— 烘缸个数

其它同上

(四) 烘缸的有效面积利用系数计算

表1-15-43

常见纸种的烘缸出力

纸机型式	纸 种	车 速 (m/min)	纸进烘缸 干度 (%)	纸出烘缸干 度 (%)	烘缸单位有效面积 蒸发水量 [$\text{kg 水}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]
3150长网机	50—80g/m ² 新闻纸、印刷纸、书写纸	250~325	32~35	92~95	21~26
3150长网机	40—70g/m ² 新闻纸、印刷纸	60~120	32~33	93~94	16~17
2362长网机	40—80g/m ² 新闻纸、印刷纸、书写纸	60~150	35	93	11~14
1760长网机	40—80g/m ² 优质文化用纸	60~120	35	93	14
1880双长网机	低压电缆纸	25~75	30~34	91~94	10~16
1880双长网机	80—150g/m ² 图画纸	25~75	35~37	91~95	14~16
1880长网机	22—24g/m ² 卷烟纸	50~100	28~34	94	10~15
1092长网机	80g/m ² 水泥袋纸	60~100	32~34	91~93	14~21
1092长网机	100—500g/m ² 绝缘纸板	6~60	39	90	7.2~14
1880长网机	40—50g/m ² 描图纸	20~40	28~30	93	5~6

【说明】 烘缸有效面积利用系数是指造纸机烘缸单位有效面积和单位时间生产纸的实际抄造量。该指标反映了烘缸能力的利用程度。

【公式】

$$K = \frac{G}{F \cdot t} \quad (1-15-482)$$

式中 K ——烘缸有效面积利用系数 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$

G ——纸的实际抄造量 (kg)

F ——烘缸有效总面积 (m^2) , 见式1-15-479, 指造纸机能发挥作用的各个烘缸有效面积总和

t ——作业时间 (h)

【例】某厂有一台3150新闻纸机, 每小时实际抄造量为2545kg, 烘缸直径为1.5m, 有效宽度3.4m, 纸幅与烘缸的最大接触弧度(包角)为 210° , 共有烘纸缸30个, 冷缸2个, 烘毯缸6个, 计算该纸机烘缸有效面积利用系数。

解:

$$\begin{aligned} K &= \frac{G}{n \cdot F_{\text{缸}} t} \\ &= \frac{G}{n \cdot \pi DB \frac{\alpha}{360} \cdot t} \\ &= \frac{2545}{30 \times 3.14 \times 1.5 \times 3.4 \times \frac{210}{360} \times 1} \\ &= 9.08 [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \end{aligned}$$

(五)烘缸总面积利用系数的计算

【说明】指造纸机烘缸总面积每平方米、每小时纸的实际抄造量。

【公式】

$$K_{\text{总}} = \frac{G}{F_{\text{总}} t} \quad (1-15-483)$$

式中 $K_{\text{总}}$ ——烘缸总面积利用系数 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$

$F_{\text{总}}$ ——烘缸总面积 (m^2) , 按烘缸全面积计算
其它同上

(六)烘缸内形成水环的临界速度计算

【说明】水环的形成取决于缸内凝结水的量、水的粘度、烘缸直径和缸壁粗糙度等。

【公式】

$$V = \beta \frac{\sqrt[3]{V_1^2}}{\sqrt{d}} \cdot \frac{\sqrt[3]{\rho^4 g^7}}{\mu^4} + \sqrt{rg} \quad (1-15-484)$$

式中 V ——水环形成的临界速度 (m/s)

β ——系数

V_1 ——烘缸单位宽度的凝水数量 (m^3/m)

ρ ——水的密度 (kg/m^3)

g ——重力加速度 (9.81m/s^2)

d ——烘缸内径 (m)

r ——缸内液面半径 (m)

μ ——水的粘度 $(\text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$

\sqrt{rg} ——水环表面线速度 (m/s)

(七)烘缸缸壁厚度的计算

【公式】

$$\delta = \frac{PD}{2[\sigma]} + C \quad (1-15-44)$$

式中 δ ——壁厚(m)

P ——工作蒸汽压力(Pa), 一般不超过 $(29.4 \sim 34.3) \times 10^4 \text{Pa}$

D ——烘缸直径(m)

$[\sigma]$ ——烘缸材料的许用应力(Pa), 铸铁为 $1.96 \times 10^7 \text{Pa}$ (200kg/cm^2)

C ——附加裕量(m), 一般 $C = 1 \sim 6 \text{mm}$

【注意】 烘缸的实际厚度应略大于理论计算值。参考表1-15-44

表1-15-44

不同烘缸直径与壁厚的关系

烘缸直径(mm)	1000	1250	1500	1800	2500	3000	4000	5000
烘缸壁厚(mm)	20	22.5	25	28	35	38	48	58

(八)烘缸内蒸汽加热部分的长度计算

【说明】 通常烘缸宽度比进入干燥部的湿纸宽 $70 \sim 130 \text{mm}$ 。

【公式】

$$b_1 = \frac{b + 2C}{100 - \epsilon_2} \times 100 \quad (1-15-486)$$

式中 b_1 ——缸内蒸汽加热部分的长度(mm)

b ——进干燥部的湿纸宽度(mm)

C ——纸的切边宽度(mm), 一般为 $20 \sim 25 \text{mm}$

ϵ_2 ——纸在干燥部的横向收缩率(%)

六、干燥部耗热量及蒸汽消耗量的计算

(一)一段通汽的耗热量及蒸汽消耗量计算

1. 耗热量计算

【说明】 耗热量的计算通常以干燥1kg 纸所消耗的热量表示, 一般包括下面四部分。

【公式】

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

式中 Q ——一段通汽总耗热量(kJ/kg 纸)

Q_1 ——蒸发1kg 纸中水分所需热量(kJ/kg 纸)

$$Q_1 = \frac{C_2 - C_1}{C_1} (i - C_w t_1) \quad (1-15-487)$$

C_1, C_2 ——进、出干燥部纸页的干度(%)

i ——由纸中排出蒸汽的热含量(kJ/kg)

C_w ——水的比热[kJ/(kg·°C)], $C_w = 4.1868$

t_1 ——纸页入干燥部时的温度(°C)

Q_2 ——加热1kg 成品纸中绝干纤维所需的热量(kJ/kg 纸)

$$Q_2 = \frac{C_2}{100} C_c (t_2 - t_1) \quad (1-15-488)$$

C_c ——纤维的平均比热[kJ/(kg·°C)], 可取 $C_c = 1.4235$

t_2 ——干燥部出口纸页温度(°C)

Q_3 —— 加热1kg 成品纸中留存的水分所需的热量(kJ/kg 纸)

$$Q_3 = (1 - \frac{C_2}{100})C_w(t_2 - t_1) \quad (1-15-489)$$

Q_4 —— 热量损失(kJ/kg 纸), 一般包括纸幅向外界散失的热量、烘缸的散失热量等

【讨论】 由于加热纸料及加热存在纸中水分所需热量很小(与 Q 相对而言), 故在计算中 Q_2 和 Q_3 往往可以忽略不计。而热量损失 Q_4 , 通常反映在干燥部的热效率 η 中, η 的大小取决于烘缸的排列、构造、通风及蒸汽压力等, 一般纸机上 $\eta = 0.65 \sim 0.75$; 而对浆板机、纸板机和单缸造纸机, 由于烘缸不带帆布, 故 $\eta = 0.8 \sim 0.9$ 。

2. 蒸汽消耗量的计算

【说明】 计算仍以干燥1kg 成品纸为基准。

【公式】

$$D = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{i' - i''} \quad (1-15-490)$$

$$\text{或} \quad D = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{(i' - i'')\eta} \quad (1-15-491)$$

$$\text{或} \quad D \approx \frac{Q_1}{(i' - i'')\eta} \quad (\text{估算式}) \quad (1-15-492)$$

式中 D —— 耗汽量(kg/kg 纸)

i' —— 入干燥部蒸汽热含量(kJ/kg)

i'' —— 排出烘缸冷凝水的热含量(kJ/kg)

η —— 干燥热效率, 同上

【例】 某长网造纸机车速 $V = 98\text{m/min}$, 进入干燥部纸页水分含量 $W_1 = 68\%$, 温度 $t_1 = 20^\circ\text{C}$, 出干燥部时水分含量 $W_2 = 8\%$, 已知蒸发出的水蒸汽热含量 $i = 2587.4\text{kJ/kg}$, 通入烘缸的蒸汽压力 $P = 24.5 \times 10^4\text{Pa}$ (2.5kg/cm^2), 此时的热含量为 $i' = 2718.1\text{kJ/kg}$, 冷凝水的排出热含量 $i'' = 530\text{kJ/kg}$, 干燥效率 $\eta = 0.7$, 试估算干燥每 kg 纸所需要的蒸汽量。

$$\begin{aligned} \text{解:} \quad Q_1 &= \frac{C_2 - C_1}{C_1}(i - C_1 t_1) \\ &= \frac{(1-8\%) - (1-68\%)}{(1-68\%)}(2587.4 - 4.1868 \times 20) \\ &= 4689.2(\text{kJ/kg 纸}) \\ D &\approx \frac{Q_1}{(i' - i'')\eta} \\ &\approx \frac{4689.2}{(2718.1 - 530.0) \times 0.7} \\ &\approx 3.06(\text{kg/kg 纸}) \end{aligned}$$

(二)分段通汽时干燥纸的耗热量及蒸汽消耗量的计算

1. 耗热量的计算

【说明】 今以1kg 风干纸作为基准, 以三段通汽为例进行计算。

(1)第一段烘缸中的理论耗热量 Q_1

【公式】

$$Q_1 = \frac{(C' - C_1)C_2 i_1'}{C' C_1} + \frac{C_2 C_c t'}{100} + \frac{C_2(100 - C')}{100 C'} C_w t' - \frac{C_2 C_c t_1}{100} - \frac{C_2(100 - C_1)}{100 C_1} C_w t_1 \quad (1-15-493)$$

式中 Q_1 —— 第一段烘缸中的理论耗热量(kJ/kg)

C_1, C_2 —— 进出干燥部纸的干度(%)

C' —— 出干燥部第一段烘缸纸的干度(%)

t_1 —— 进干燥部纸的温度(°C)

t' —— 出第一段烘缸纸的温度(°C)

i_1' —— 第一段烘缸平均干燥温度的饱和蒸汽热含量(kJ/kg)

C_w —— 水的比热[kJ/(kg·°C)], $C_w = 4.1868$ kJ/(kg·°C)

C_c —— 纤维的比热[kJ/(kg·°C)], 部分纤维的比热见表1-15-45

(2) 第二段烘缸中的理论耗热量 Q_2

表1-15-45

部分纤维的比热 C_c

纤维种类	纤维素	磨木浆	亚硫酸盐木浆	碱法木浆	纤维的平均值
比热[kJ/(kg·°C)]	1.3356	1.3691	1.3356	1.3523	1.4235
[kcal/(kg·°C)]	0.319	0.327	0.319	0.323	0.340

【公式】

$$Q_2 = \frac{(C'' - C')C_2 i_2'}{C' C''} + \frac{C_2 C_c (t'' - t')}{100} + \frac{C_2 C_w}{100} \left[\frac{(100 - C'')t''}{C''} - \frac{(100 - C')t'}{C'} \right] \quad (1-15-494)$$

式中 Q_2 —— 第二段烘缸中的理论耗热量[kJ/(kg·°C)]

C'' —— 出第二段烘缸纸的干度(%)

t'' —— 出第二段烘缸纸的温度(°C)

i_2' —— 第二段烘缸平均干燥温度的饱和蒸汽热含量(kJ/kg)

其它同上

(3) 第三段烘缸的理论耗热量 Q_3

【公式】

$$Q_3 = \frac{(C_2 - C'')C_3 i_3'}{C'' C_3} + \frac{C_3 C_c (t_2 - t'')}{100} + \frac{C_3 C_w}{100} \left[\frac{(100 - C_2)t_2}{C_2} - \frac{(100 - C'')t''}{C''} \right] \quad (1-15-495)$$

式中 Q_3 —— 第三段烘缸的理论耗热量[kJ/(kg·°C)]

t_2 —— 出干燥部纸的温度(°C)

i_3' —— 第三段烘缸平均干燥温度的饱和蒸汽热含量(kJ/kg)

其它同上

2. 耗汽量的计算

【说明】 参考上述单段通汽耗汽量的计算。在计算分段通汽(2~3段)的耗汽量时,应就各段的具体情况分别估算其所需热量。然后根据进入第三段烘缸组的蒸汽压力,求出所

需蒸汽量,再据此倒推求得进入水汽分离器的蒸汽量和冷凝水量。按同一方法,求得第二段烘缸组的耗汽量以及来自第一组的泛汽量。总耗汽量即相当于第一段烘缸组耗汽量和进入第一个水汽分离器的泛汽量之和。

(三)干燥部的总耗汽量的估算及蒸汽管管径的选择计算

【说明】干燥部蒸汽总管和各烘缸的进汽支管管径,可根据纸张干燥的耗汽量来决定。

1. 干燥部总耗汽量的估算

【公式】

$$D_g = DGK_1K_2 \quad (1-15-496)$$

式中 D_g ——干燥部的总耗汽量(kg/h)

D ——每干燥1kg成品纸所消耗的蒸汽量(kg/kg纸)

G ——纸机单位时间的抄造量(kg/h)

K_1 ——考虑到最大负荷时的附加系数,一般取1.40~1.50

K_2 ——烘毯缸耗汽量的附加系数,一般取1.10~1.15

2. 蒸汽管管径的计算

(1)蒸汽总管管径的计算

【公式】

$$d = \sqrt{\frac{4D_g}{3600\pi\gamma\nu}} \quad (1-15-497)$$

式中 d ——蒸汽总管直径(m)

D_g ——干燥部总耗汽量(kg/h)

γ ——蒸汽容重(kg/m³)

ν ——蒸汽流速(m/s),一般可取30~40m/s

(2)烘缸进气管管径的计算

【说明】各个烘缸进气管管径应根据各个烘缸的最大进气量考虑,蒸汽流速 V 应取20~25m/s。

【公式】同式1-15-497

(3)冷凝水总管管径的计算

【说明】干燥部冷凝水总管管径一般为各个烘缸进气管的管径的50~60%。

七、冷缸的计算

(一)冷缸用水流量的计算

1. 进水管有喷孔时的用水流量计算

【说明】如进水管有喷孔,则按喷水管喷水量计算(见第四篇第三章第二节内容)

2. 进水管无喷孔时的用水流量计算

【公式】

$$W = 60 \times \frac{\pi}{4} d^2 V \quad (1-15-498)$$

式中 W ——用水量(m³/s)

d ——进水管内径(m)

V ——水在管中流速(m/s),一般取1m/s

(二)冷缸冷却带走的热量 Q_T 的计算

【公式】

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1-15-499)$$

式中 Q_T ——冷缸冷却带走的热量(kJ/kg 纸)

Q_1 ——每千克纸中纤维冷却所带走的热量(kJ/kg 纸)

$$Q_1 = \frac{C_2}{100} C_c (t_2 - t_3) \quad (1-15-500)$$

C_2 ——烘干后纸的干度(%)

C_c ——纤维的比热(kJ/(kg·°C)),取 $C_c = 1.4235$ kJ/(kg·°C)

t_2, t_3 ——纸入、出冷缸时的温度(°C)

Q_2 ——每公斤纸中水分的冷却所减少的热量(kJ/kg 纸)

$$Q_2 = (1 + \frac{C_2}{100}) C_w (t_2 - t_3) \quad (1-15-501)$$

C_w ——水的比热,取 $C_w = 4.1868$ kJ/(kg·°C)

Q_3 ——空气的湿含量由 χ_1 减少到 χ_2 、温度由 t_1' 降到 t_2' 时每公斤纸放出的热量(kJ/kg 纸)

$$Q_3 = \frac{\chi_0}{\chi_1 - \chi_2} = [1.005(t_1' - t_2') + 1.968(\chi_1 t_1' - \chi_2 t_2') + 2941.15(\chi_1 - \chi_2)] \quad (1-15-502)$$

χ_0 ——每千克纸冷凝在缸面的水分(kg 水/kg 纸),一般 $\chi_0 = 0.015 \sim 0.025$

χ_1, χ_2 ——进、出冷缸的空气湿含量(kg/kg 纸)

t_1', t_2' ——冷缸前后空气温度(°C)

其它同上

(三)冷缸耗水量的计算

【公式】

$$G = \frac{Q_T}{\Delta t C_w} = \frac{Q_T}{(t_4' - t_3') C_w} \quad (1-15-503)$$

式中 G ——冷却1千克纸耗水量(kg 水/kg 纸)

t_3', t_4' ——进出冷缸的水温(°C),通常 $t_4' - t_3' = 5 \sim 10$ °C

其它同上

八、抄纸车间蒸汽冷凝露点温度的计算

【说明】中小纸厂抄纸车间冬季在干燥部经常发生滴水现象,其根本原因在于车间内空气温度过高,致使房顶内壁温度达到车间内空气的露点温度,造纸滴水。

【公式】

$$H = 0.622 \frac{\Phi P_s}{P - \Phi P_s} \quad (1-15-504)$$

式中 H ——抄纸车间空气湿含量(kgH₂O/kg 干空气)

Φ ——相对湿度(%)

P ——车间湿空气总压力(Pa)

P_s —— 车间温度下的饱和蒸汽压(Pa)

【例】 某纸厂长网车间冬季一昼夜干球温度为 18°C ,相对湿度为76%,该地区大气压强为95992.11Pa(720mmHg),试确定车间的露点温度。若该厂车间冬季温度一般在 $8\sim 11^{\circ}\text{C}$,试判定该厂冬季能否发生屋顶漏水现象?

解:查有关资料得 18°C 时水的饱和蒸汽压 $P_s = 2063.79\text{Pa}$,则空气的湿含量为:

$$H = 0.622 \frac{\Phi P_s}{P - \Phi P_s} = 0.622 \times \frac{0.76 \times 2063.79}{95992.11 - 0.76 \times 2063.79} \\ = 0.01033(\text{kgH}_2\text{O}/\text{kg 干空气})$$

查化工手册及书籍等资料,得该湿含量下的露点温度 $t = 13.8^{\circ}\text{C}$ 。以计算中得知,要使该厂屋顶内壁不滴水,需保持车间温度在 14°C 以上,而该车间冬季温度一般在 $8\sim 11^{\circ}\text{C}$,故屋顶滴水将是不可避免的。

九、干燥部的节能计算

(一)提高进烘干部纸页干度的蒸汽节约量的计算

【例】 已知成纸干度为93%,压榨后湿纸干度为30%,求干燥脱水量?如果压榨后湿纸干度为31%,成纸干度不变,那么,可节约多少干燥蒸汽?

解:压榨后湿纸干度改变前后的蒸发水量分别为:

$$W_1 = \frac{C_2 - C_1}{C_1} = \frac{93 - 30}{30} = 2.1(\text{kg 水}/\text{kg 纸})$$

$$W_2 = \frac{C_2 - C_1'}{C_1'} = \frac{93 - 31}{31} = 2.0(\text{kg 水}/\text{kg 纸})$$

压榨干度提高前后,蒸发水量的变化为:

$$\Delta = \frac{2.1 - 2.0}{2.1} \times 100\% = 4.76\%$$

故可节约蒸汽为4.76%

(二)提高湿部温度后纸页干度的提高计算

【说明】 某厂为了节约纸机干燥部蒸汽,采取提高湿部温度的方法对湿部纸进行加热。假设某纸机干燥部入口的水分原是60%,后来减少2%,求经干燥后纸页的干度可增加多少?

解:进缸水分为60%,则:

$$\frac{\text{水分}}{\text{纤维}} = \frac{60}{40} = 1.5$$

当进缸水分减少2%,即水分为58%时,则:

$$\frac{\text{水分}}{\text{纤维}} = \frac{58}{42} = 1.38$$

$$\therefore \text{提高干度} = \frac{1.5 - 1.38}{1.5} \times 100\% = 8\%$$

(三)增加压榨线压力提高纸页干度的计算

【说明】 目前一般的纸在出压榨时湿纸的干度大约30~40%,为了节省蒸汽费用,可采取提高压榨部干度的方法,以降低蒸汽消耗。

【例】 某纸机出压榨部干度从36%提高到38%,如果该纸机年产20万吨纸,则可节约蒸汽多少吨?蒸汽费用节约多少?如果因提高压榨线压力而增加的费用为6000美元,则净

节约费用是多少?已知,干燥时蒸汽的汽化热为2258.36kJ/kg,每吨蒸汽成本17.69美元,蒸发温度下的汽化潜热为2389.4kJ/kg

解:提高纸页干度后节省热量:

$$Q = \left(\frac{C_2 - C_1}{1 - C_2} \right) r = \left(\frac{64\% - 62\%}{1 - 64\%} \right) \times 2389.4 \\ = 132.76 (\text{kJ/kg 纸})$$

节约蒸汽量:

$$D = \frac{Q}{r_s} = \frac{132.76}{2258.36} = 0.0588 (\text{kg/kg 纸})$$

一年节约蒸汽量:

$$0.0588 \times 20 \times 10000 \times 1000 = 11760000 (\text{kg}) = 11760 (\text{t})$$

节约蒸汽费用

$$11760 \times 17.69 = 208000 (\text{美元})$$

扣除提高线压力费用,则净节约费用:

$$208000 - 6000 = 202000 (\text{美元})$$

$$\text{或相当于: } \frac{202000}{200000} \approx 1 (\text{美元/t 纸})$$

第五节 压光、卷曲、完成部的工艺计算

一、普通压光机的工艺计算

(一)压光机底辊的总负荷计算

【公式】

$$Q = \Sigma G_{n-1} + P \quad (1-15-505)$$

式中 Q —— 压光机底辊的总负荷(N)

ΣG_{n-1} —— 除底辊外各个辊筒的总重力(N)

P —— 附加压力(N)

(二)压光机底辊中高的计算

【说明】 压光机的底辊要承受上面全部辊子重量及附加压力,底辊必然产生挠度。为了使底辊产生均匀的线压,弥补挠度,必须在底辊上采用中高。

【公式】

$$K = \frac{2(\Sigma G_n + \Sigma G'_{n-1})b^2(12l - 7b)}{384E_x I_x} \quad (1-15-506)$$

式中 K —— 底辊中高(m)

ΣG_n —— 全部辊筒重力(N)

$\Sigma G'_{n-1}$ —— 除下辊轴承外所有辊子轴承的总重力(N)

b —— 辊筒宽度(m)

l —— 辊筒轴承中心的距离(m)

$E_x I_x$ —— 底辊的刚度(N·m²)

E_x —— 底辊的弹性模量(Pa)

I_x ——底辊切面的惯性矩(m^4)

(三)压光机顶辊挠度的计算

【说明】如果压光机顶辊有附加压力,则顶辊的挠度可用下式计算。

【公式】

$$f = \frac{2Pb^2(12l - 7b)}{384E_x I_x} \quad (1-15-507)$$

式中 f ——顶辊挠度(m)

P ——附加压力(N)

$E_x I_x$ ——顶辊的刚度($N \cdot m^2$)

其它同上

二、卷纸机的工艺计算

(一)卷纸机上的毛纸幅宽计算

【说明】纸机抄宽即指卷纸机上的毛纸幅宽。

【公式】

$$B_m = B + 2e \quad (1-15-508)$$

式中 B_m ——抄宽(mm),即毛纸幅宽

B ——净纸幅宽(mm)

e ——各项干纸切边之和分摊到两侧的每侧当量切边宽度(mm),一般为20~25mm

(二)卷筒纸在机重量估算

【说明】在纸的抄造和再加工过程中,为了核算每班的产量及消耗,需卸纸卷称重交班。这里介绍一种卷筒纸不需停机的在机重量估算法,只要测出卷筒纸页厚度,就可以估算出纸卷重量(不含卷纸辊重量),也可按公式制定“纸页厚度与卷重对照表”,直接查表求得卷重。估算误差一般小于5%,适于估算各种规格和品种的成品纸或加工纸重量。

【公式】

$$W = K(\chi^2 + d\chi) \quad (1-15-509)$$

式中 W ——纸卷重量(kg)

K ——常数,见〔附注〕

χ ——纸页厚度(cm)

d ——纸筒芯内径或卷纸辊外径(cm),如图1-15-69

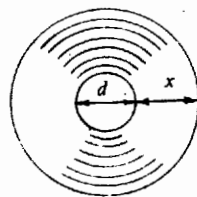


图1-15-69 卷筒纸卷示意图

【附注】常数 K 的计算:常数 K 与纸卷的品种、规格、水分、松紧程度等因素有关,即使是同品种、同规格的纸卷,由于水分或松紧程度不同, K 值也不同,实际应用中取其平均值,计算方法如下:

从同类纸卷中,随机抽取 n 件,分别测量其纸页厚度 χ_i 和纸卷重 W_i ,按下式计算 K_i 和 K 。

$$K_i = \frac{W_i}{\chi_i^2 + d\chi_i} \quad (1-15-510)$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \quad (1-15-511)$$

【例】某厂镀铝纸车间涂布工段,为了测定涂布过程中镀铝原纸卷重量,从库中随机抽样36卷原纸,测量结果如表1-15-45。纸筒内芯直径 $d = 7.5\text{cm}$,试求纸页厚度为20cm时纸卷的重量。

解:由式1-15-510计算 K_i 并附于表1-15-45中。则:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} = \frac{1.331}{6} = 0.222$$

当纸页厚度为20cm时,则:

$$\begin{aligned} W &= K(\chi^2 + d\chi) \\ &= 0.222(20^2 + 7.5 \times 20) \\ &= 122(\text{kg}) \end{aligned}$$

表1-15-45

镀铝纸随机抽样结果及 K_i 值

序 号	1	2	3	4	5	6
纸页厚度(cm)	34.5	32.1	36.2	35.8	34.3	31.7
纸卷重量(kg)	308	294	335	348	330	275
K_i	0.213	0.231	0.212	0.224	0.230	0.221

(三)卷纸机上的毛纸理论产量计算

【公式】

$$G = \frac{qB_m V_{max}}{1000} \times 60 \quad (1-15-512)$$

式中 G —— 小时产量(kg/h)

q —— 纸的定量(g/m^2)

V_{max} —— 造纸机的最大工作车速,即卷纸机的最大工作车速(m/min)

B_m —— 卷纸机上毛纸幅宽(m)

(四)卷纸机卷筒直径的变化计算

【公式】

$$D_t = \sqrt{D_0^2 + \frac{4\delta v}{\pi} t} \quad (1-15-513)$$

式中 D_t —— 卷筒纸卷直径(m)

D_0 —— 纸轴直径(m)

δ —— 纸的厚度(m)

V —— 卷纸线速度(m/s)

t —— 卷纸时间(s)

(五)卷筒中纸的长度的计算

【公式】

$$L = Vt = \frac{\pi}{4\delta} (D_t^2 - D_0^2) \quad (1-15-514)$$

式中 L —— 纸的长度(m)

其它同上

(六) 卷纸的圆周速度计算

【说明】 轴式卷纸机的圆周速度可用下式计算。

【公式】

$$V = \frac{D\omega}{2} \quad (1-15-515)$$

式中 V —— 圆周速度(m/s)

D —— 卷纸时纸卷的直径(m)

ω —— 纸卷的角速度(1/s)

(七) 卷筒的角速度计算

【说明】 当圆周速度不变时,由于卷筒直径的变化(卷纸时增大,退纸时减少),卷筒可以变转速或变角速度转动,卷筒的角速度计算如下。

【公式】

$$\omega = \pm \frac{4\delta v^2}{\pi D_i^2} \quad (1-15-516)$$

式中 ω —— 卷筒的角速度(1/s)

其它符号含义及单位同上

【讨论】 卷纸时,角加速度为负值;退纸时为正值。

(八) 卷纸机的运转条件计算

【说明】 卷取时所需的力矩以及卷纸轴运动的转速是卷纸机运转必须满足的运转条件。

【公式】

$$M = Qr \quad (1-15-517)$$

$$n = \frac{V}{2\pi r} \quad (1-15-518)$$

式中 M —— 卷取所需力矩(N·m)

Q —— 纸幅张力(N)

r —— 纸卷半径(m)

n —— 卷纸轴转速(r/min)

V —— 纸幅的速度(m/min)

(九) 轴式卷纸机卷纸所需时间的计算

【公式】

$$t = \frac{\pi}{\delta V} (r_2^2 - r_1^2) \quad (1-15-519)$$

式中 t —— 卷纸机卷取纸卷半径从 r_1 到 r_2 所需的时间(s)

V —— 纸幅的速度,即圆周速度(m/s)

δ —— 纸的厚度(m)

r_1, r_2 —— 纸卷的初、终半径(m)

(十)卷纸机的旋转速度的变化规律计算

【公式】

$$n = \frac{60V}{2\pi r_2} = \frac{60V}{2\pi \sqrt{\frac{\delta v}{\pi}t + r_1^2}} \quad (1-15-520)$$

式中 n —— 卷纸机转速(r/min)

其它同上

(十一)卷取的有效力矩的计算

【公式】

$$M = Q \sqrt{\frac{\delta v}{\pi}t + r_1^2} \quad (1-15-521)$$

式中 M —— 有效力矩(N·m)

Q —— 纸幅的张力(N)

其它同上

(十二)机械式摩擦离合器的摩擦盘所需的压力计算

【说明】 机械式摩擦离合器是利用改变摩擦盘的压力产生不同的滑动而变更卷纸轴转速的。摩擦盘所需的压力可由摩擦力矩与扭矩等而求出。

【公式】

$$P = \frac{qbD_i}{2fR_i m} \quad (1-15-522)$$

式中 P —— 所需的压力(N)

q —— 纸幅的线张力(N/m)

b —— 纸幅的宽度(m)

D_i —— 纸卷直径(m)

f —— 摩擦片的摩擦系数,无润滑时 $f=0.1\sim 0.15$;有润滑时 $f=0.05\sim 0.07$

R_i —— 摩擦半径(m),取决于摩擦片中的内外半径

$$R_i = \frac{2}{3} \left(\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \right) \quad (1-15-523)$$

r, R —— 摩擦片中的内、外半径(m)

m —— 离合器中摩擦面的副数

(十三)轴式卷纸机的效率计算

【说明】 配有摩擦离合器的卷纸机,其效率等于卷取的有效功率 N 与所需的最大功率 N_{\max} 之比。

【公式】

$$\eta = \frac{N}{N_{\max}} = \frac{D_0}{\Phi D_i} \quad (1-15-524)$$

式中 η —— 卷纸机效率

N —— 卷取的有效功率(kW)

N_{\max} —— 所需的最大功率(kW)

Φ —— 超前系数,指卷纸轴的线速度与纸的线速度之比,可取1.1

D_0, D_t ——开始及终了时纸卷直径(m)

(十四)卷纸机退纸时纸卷直径的变化计算

【公式】

$$D_t = \sqrt{D_H^2 - \frac{4\delta v}{\pi} t} \quad (1-15-525)$$

式中 D_H ——开始退纸时卷筒的直径(m)

其它同上

(十五)退纸时间的计算

【公式】

$$t = \frac{\pi}{4\delta v} (D_H^2 - D_t^2) \quad (1-15-526)$$

式中 t ——退纸时间(s)

其它同上

(十六)退纸长度的计算

【公式】

$$L = Vt = \frac{\pi}{4\delta} (D_H^2 - D_t^2) \quad (1-15-527)$$

式中 L ——退纸长度(m)

其它同上

三、超级压光机的工艺计算

(一)超级压光机的生产能力计算

【公式】

$$G = 0.06qbvn \quad (1-15-528)$$

式中 G ——生产能力(kg/h)

q ——纸的定量(g/m²)

b ——压光纸幅的宽度(m)

v ——压光纸幅的速度(m/min)

n ——有效压光时间系数或时间利用系数,即超级压光机的有效压光纸幅的时间与其全部工作时间的比值, n 的平均值一般为0.5~0.7

(二)金属辊与纸粕辊间的微滑动计算

【说明】普通超级压光机的两辊间的结构如图1-15-70β 由于纸粕辊的径向变形,在变形区内产生不同的圆周速度,造成了辊筒间的微滑动。这种微滑动(相对运动)是纸张表面获得光泽度和平滑度的主要原因之一。辊筒间的相对滑动是与车速无关,而取决于纸粕辊的径向变形和角速度,所以,超级压光机金属辊的上、中、下辊直径都不同,目的在于使辊筒转动时增加微滑动效果。微滑动的数值用两辊的圆周速度比或圆周速度差表示。

1. 两辊的圆周速度比(相对滑动)

【公式】

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_1 - \Delta R_1} \quad (1-15-529)$$

式中 V_1 ——纸粕辊的圆周速度(m/s)

V_2 ——金属辊的圆周速度(m/s)

R_1 ——纸粕辊的半径(m)

ΔR_1 ——纸粕辊的变形量(m)

$$\Delta R_1 = R_1 - R_1'$$

(1-15-530)

R_1' ——纸粕辊变形半径(m)

2. 两辊的圆周速度之差

【公式】

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \omega_1 \Delta R_1$$

(1-15-531)

式中 ω_1 ——纸粕辊的角速度(1/s)

其它同上

(三) 纸粕辊变形面积的宽度计算

【说明】 当纸幅通过超级压光机各辊筒时, 辊筒和纸幅都产生了变形。辊筒间变形面积的宽度, 取决于纸粕辊在接触区中的变形大小以及纸幅厚度上变形的大小。如果忽略了辊筒之间存在着纸张, 纸粕辊弹性模数比金属辊的弹性模数小得多时, 变形面积的宽度可近似地用下式计算。

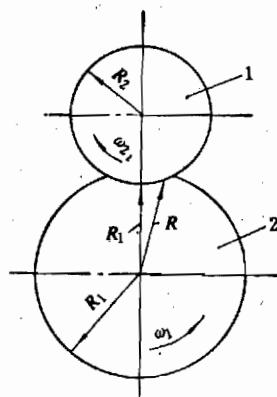


图1-15-70 纸粕辊在压光中的径向变形

1—钢辊 2—纸粕辊

【公式】

$$a = 4 \sqrt{\frac{q R_1 R_2 (1 - \mu^2)}{\pi (R_1 + R_2) E_s}}$$

(1-15-532)

式中 a ——变形面积宽度(m), 一般在4~10mm 之间

q ——线压力(N/m)

R_1, R_2 ——辊筒的半径(m)

μ ——填充纸的泊松系数, 即纸在拉伸试验时侧向应变与轴向应变之比。试验发现, 对于各个方向具有相同弹性的材料其 $\mu = 0.25$; 金属的 μ 值常常在0.25~0.35之间。

E_s ——纸张的正常弹性模数(N)

(四) 平均比压的计算

【说明】 单位压力的大小在变形面的宽度方面是不相同的, 压力沿所形成的变形面积上的分布是用辊筒间的线压力与变形面积的宽度的比值来表示的。

【公式】

$$\bar{P} = \frac{q}{a}$$

(1-15-533)

式中 \bar{P} ——平均比压(Pa); 普通超级压光机的单位压力为 $(100 \sim 250) \times 10^5 \text{Pa}$; 如果压光高紧度电容器纸、半透明玻璃纸也可达到 $(250 \sim 500) \times 10^5 \text{Pa}$

q ——线压力(N/m)

a ——变形面积的宽度(m)

(五)线压力的计算

【说明】 超纸压光机各辊筒上的压力一般是由顶辊到底辊递增的。底辊及下数第二辊之间的压力最大。纸幅承受的压力通常以每米宽度上的力表示,称为线压力。

【公式】

$$q = q_1 + q_2 = \frac{\Sigma G_{(n-底)} + P}{b} \quad (1-15-534)$$

式中 q —— 线压力(N/m)

q_1 —— 除底辊外全部辊筒的线压力(N/m)

q_2 —— 外加线压力(油压)(N/m)

$\Sigma G_{(n-底)}$ —— 除底辊外,全部辊筒重量(N)

b —— 纸粕辊的有效工作面宽(m)

P —— 油缸压力(N)

【例】 以仿 CKK-10型超纸压光机为例,除底辊外,11只辊筒总重力为80364N,第二底辊的面宽为1.32m,油压缸有两只,其直径为0.254m,如油缸每增加1m²能产生10⁵N油压力,求底辊上承受的总线压力。

解:

$$q_1 = \frac{\Sigma G_{(n-底)}}{b} = \frac{80364}{1.32} = 60882(\text{N/m})$$

油缸总面积

$$F = 2\pi R^2 = 2 \times 3.14 \times 0.127^2 = 0.1(\text{m}^2)$$

$$P = 10^5 F = 0.1 \times 10^5 = 10^4(\text{N})$$

$$q_2 = \frac{P}{b} = \frac{10^4}{1.32} = 7576(\text{N/m})$$

$$\therefore q = q_1 + q_2 = 60882 + 7576 = 68458(\text{N/m})$$

(六)底辊轴承的总负荷的计算

【说明】 在垂直平面内作用于底辊轴承上的力有:全部辊筒的重量(包括底辊自重),在底辊以上各辊筒的轴承重量以及外加压力。底辊水平面内的负荷(主要是圆周力)不大。

【公式】

$$Q = \Sigma G_{(1-n)} + \Sigma G'_{(1-n)} + P \quad (1-15-535)$$

式中 Q —— 底辊轴承的总负荷(N)

$\Sigma G_{(1-n)}$ —— 全部辊筒的总重力(N)

$\Sigma G'_{(1-n)}$ —— 底辊轴承以外全部轴承的总重力(N)

P —— 外加油压力(N)

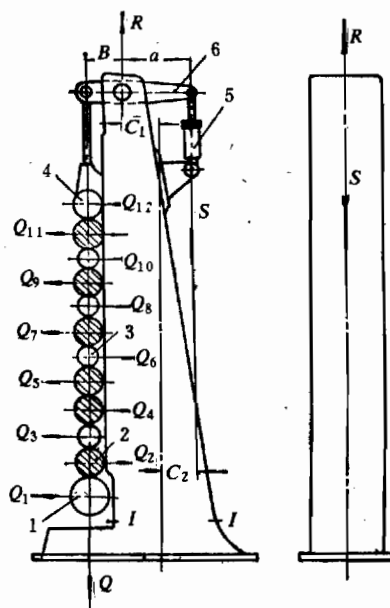
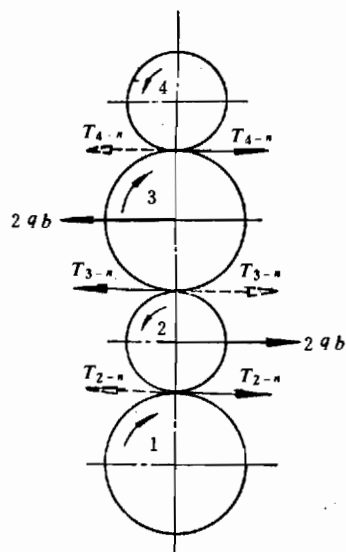
(七)第二下辊上的水平负荷计算

【说明】 压光机的辊筒和轴承在水平面内也有负荷。各水平面内的最大负荷是在第二下辊上,但约比底辊上的垂直负荷小几十倍,见图1-15-71。

【公式】

$$Q_1 = 2qb + T_{(2-n)} + T_{(3-n)} \quad (1-15-536)$$

其它同上



4—顶辊 5—油压缸 6—加压杠杆

【说明】 参见图1-15-72。由圆周力及纸幅张力所导致的负荷在各个水平面上作用于机架。如果不计刮刀应力时,则可得在一个机架上的负荷的计算如下。

【公式】

$$Q_1 = \frac{1}{2} T_{(2-n)} \quad (1-15-540)$$

$$Q_1 = \frac{1}{2} [2qb + T_{(2-n)} + T_{(3-n)}] \quad (1-15-541)$$

$$Q_{n-1} = \frac{1}{2} [2qb + T_{(n-1)-n} + T_n] \quad (1-15-542)$$

$$Q_n = \frac{1}{2} (2qb + T_n) \quad (1-15-543)$$

式中 Q_n —— 不计刮刀压力,则圆周力和纸幅张力所产生的负荷在各个水平面上作用于机架上的力(n 代表辊筒数目)(N)

$2qb$ —— 均布的纸幅张力(N)

$T_{(2-n)}$ —— 相应于转动第二个辊筒及以上的全部辊筒所需动力的圆周力(N)

$T_{(3-n)}$ —— 相应于转动第三个辊筒及以上的全部辊筒所需动力的圆周力(N)

(十)由水平力所产生的总弯矩的计算

【说明】 一般情况下,超级压光机机架的危险切面是切面1-1(见图1-15-72),由水平力所产生的总弯矩,应按各个弯矩的代数值计算。

【公式】

$$M_1 = \sum Q_i L_i \quad (1-15-544)$$

式中 M_1 —— 由水平力所产生的总弯矩(N·m)

Q_i —— 相应的水平力 Q_1, Q_2, \dots, Q_n (N), 见式1-15-540~1-15-543

L_i —— 这些水平力与所取切面间的距离(m)

(十一)由加压机构所产生的弯矩计算

【说明】 由加压机构所产生的在一个机架上的负荷 R 和加压机构液压缸的压力所引起的垂直负荷 S 所产生的弯矩(当力的方向沿着机架中心时)可用下式计算(见图1-15-72)

【公式】

$$M_2 = RC_1 + SC_2 \quad (1-15-545)$$

式中 M_2 —— 由加压机构所产生的弯矩(N·m)

C_1, C_2 —— 力的作用点到所取切面的重心间的距离(m)

S —— 加压机构液压缸上所产生的垂直负荷(N)

$$S = \frac{P}{2} \cdot \frac{a}{b} \quad (1-15-546)$$

a, b —— 加压机构杠杆的臂长(m)

R —— 加压机构液压缸在一个机架上所产生的垂直负荷的相反负荷(N)

$$R = \frac{P}{2} + S \quad (1-15-547)$$

P —— 附加压力(N)

(十二) 弯曲强度的计算

【说明】 对普通超级压光机来说,所受弯矩 M_2 比 M_1 小得多,所以 M_1 的数值可以忽略。 M_1 和 M_2 同上述式1-15-544和1-15-545。

【公式】

$$\sigma = \frac{M_2}{W} \leq [\sigma] \quad (1-15-548)$$

式中 W —— 截面模数(m^3)

$[\sigma]$ —— 许用应力(Pa),一般不超过 $(3 \sim 4) \times 10^7 \text{Pa}$ ($300 \sim 400 \text{kg/cm}^2$)

σ —— 弯曲应力(Pa)

其它同上

(十三) 轴承工作容量系数的确定计算

【说明】 轴承的寿命通常是以加压轴承上的负荷、方向、性质、转速以及转动的圈别(内圈或是外圈)等因素来决定。超级压光机轴承是外圈固定,内圈转动。轴承的寿命可用轴承工作容量来表示。轴承工作容量对于每种轴承都有一定的数值,可由有关标准轴承系列表中查出。如果轴承的转数不变,当常数 C 的值愈大时,轴承能够容许的负荷也愈大,寿命也愈长。因此,我们可依据常数 C 来选择轴承的系列型号。

【公式】

$$C = (R + MA)^{K_k K_o K_T} (nh)^{0.3} \quad (1-15-549)$$

式中 C —— 工作容量系数

R —— 轴承所承受的实际径向负荷(kg)

A —— 轴承所承受的实际轴向负荷(kg)

M —— 将轴向负荷折算成径向负荷的系数,按轴承类型可在标准轴承表中查出

K_k —— 轴承圈转动系数;超级压光机辊筒轴承是由内圈旋转的,故 $K_k = 1$

K_o —— 负荷性质系数;超级压光机的主动辊 K_o 取 $1.3 \sim 1.5$ (中等冲击负荷),其余各辊 K_o 取 $1.0 \sim 1.2$

K_T —— 温度系数;因超级压光机轴承温升不超过 100°C ,故 $K_T = 1$

n —— 轴承内圈转数(r/min)

h —— 所要求的轴承使用寿命(h)

(十四) 外加油压力的计算

【公式】

$$p = \frac{P}{b} \quad (1-15-550)$$

式中 p —— 外加油压(线压)(N/m)

P —— 辊筒的外受压力(N)

b —— 辊宽(m)

【例】 图1-15-73是仿 CKK—10型超级压光机油压力的力臂简图,设加压杠杆支点为 O , B 为活塞杆受力点, A 为顶辊连杆的受力点。已知油缸的直径 $d = 21\text{cm}$, 两个油缸, 杠杆尺寸 $OA = 450\text{mm}$, $OB = 1035\text{mm}$, 求外加线压力。

解: 每个油缸面积:

$$S = \frac{\pi}{4} d^2$$

两个油缸总面积为:

$$\begin{aligned} S_{\text{总}} &= 2S = 2 \times \frac{\pi}{4} d^2 \\ &= 2 \times \frac{3.14}{4} \times 0.21^2 \\ &= 0.06923(\text{m}^2) \end{aligned}$$

∵ 已知杠杆比: $\frac{OB}{OA} = \frac{1035}{450} = 2.3(\text{倍})$

∴ 油缸单位面积的壓力在轆筒上受力为 $2.256 \times 10^5 \text{Pa}$

∴ 外受压力 $P = 2.256 \times 10^5 \times 0.06923$
 $= 15618(\text{N})$

∴ 外加线压力 $\rho = \frac{P}{b} = \frac{15618}{1.13}$
 $= 13821(\text{N/m})$

(十五) 多片式摩擦卷纸制动器制动力矩的计算

【说明】 超级压光机压光纸页时, 要达到预定的效果和平稳的运转, 纸幅在进入压光机前和出压光机后均要保持一定的张力, 这个张力在压光机前是由退纸架上纸卷制动器来控制的; 而出压光机后则是由卷纸机构的张力控制器来达到目的。多片式摩擦卷纸制动器是制动装置的一种, 参考图1-15-74。

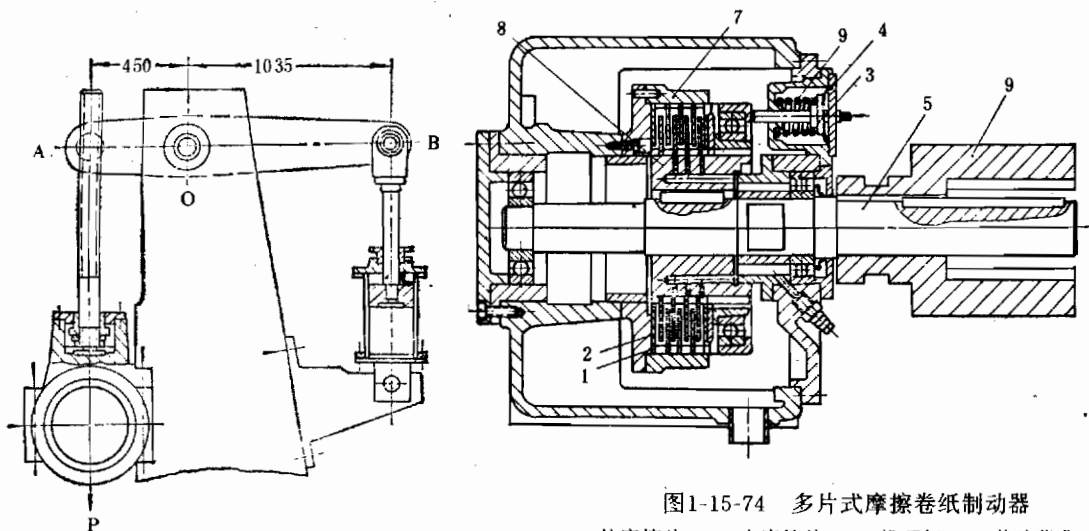


图1-15-73 CKK-10型外加油压力臂简图

图1-15-74 多片式摩擦卷纸制动器

1—外摩擦片 2—内摩擦片 3—推顶杆 4—橡胶薄膜
5—轴 6—联轴器 7—内齿轮 8—外齿轮 9—弹簧

【公式】

$$M = PRif \quad (1-15-551)$$

式中 M —— 制动力矩($\text{N} \cdot \text{m}$)

P —— 三个推杆共加的压力(N)

R —— 摩擦片的平均摩擦直径(m)

i —— 摩擦面的数目

f —— 摩擦系数, 油浴钢与青铜一般取 $f = 0.08$

(十六)退纸轴摩擦制动器的热损失计算

【说明】 为了使纸幅具有所需的张力,退纸卷的轴要连接制动器。制动器的另一作用是当纸幅断头时,能在短时间内制动退纸卷,以尽量减少损纸。制动器通常有机械的和电子的两种,机械制动器中因利用摩擦力进行制动,必然存在热损失,因此必须充分注意散热。

【公式】

$$Q = 3.6PV \quad (1-15-552)$$

式中 Q —— 制动器热损失(k/h)

P —— 纸幅总张力(N)

V —— 纸幅线速度(m/s)

(十七)气压的盘式和片式制动器的有关计算

【说明】 气压制动器属于退纸轴机械制动器的一种,具有结构紧凑,易于远距离操纵,并能灵活地控制转矩等优点。分径向全压盘式制动器和轴向气压片式制动器。现对轴向全压片式制动器计算如下。

1. 摩擦制动力矩的计算

【公式】

$$M_T = \frac{GV_{\max}D}{4gt} \quad (1-15-553)$$

式中 M_T —— 制动时所需要的摩擦力矩(N·m)

V_{\max} —— 退纸卷在制动开始时最大圆周速度(m/s)

G —— 退纸卷重力(N)

D —— 退纸卷的最大直径(m)

t —— 制动时间(s),一般为2~5s

2. 制动器所需的压力计算

【公式】

$$P = \frac{GV_{\max}D}{4gtfR_Tm} \quad (1-15-554)$$

式中 P —— 所需的压力(Pa)

f —— 摩擦片的摩擦系数;无润滑时 $f = 0.1 \sim 0.15$;有润滑时 $f = 0.05 \sim 0.07$

R_T —— 摩擦半径(m);决定于摩擦片中的内外半径 r 和 R

$$R_T = \frac{2}{3} \left(\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \right) \quad (1-15-555)$$

r, R —— 摩擦片中的内外半径(m)

m —— 制动器中摩擦盘的数目

(十八)纸卷张力自动调节系统的电气计算

1. 张力测量发电机的励磁电压的计算

【说明】 超级压光机卷纸轴由单独的电动机传动,并带有维持纸张张力恒定的电气自动调节系统,例如对于薄型纸张,张力误差不得大于±15%,张力给定值改变范围为127.5~412N/m(0.13~0.42kg/cm)。一般来说,只要维持电动机功率中张力功率部分保持不变,就可得到恒定的张力,这就要求卷纸电动机电流按照下面的规律变化,只有这样,

纸张张力才能恒定。

【公式】

$$I = I_k + I_1 + I_2 = \frac{A}{\omega} + B + C\omega \quad (1-15-556)$$

式中 I —— 电动机电枢电流(A)

I_k —— 张力电流(A)

$$I_k = \frac{A}{\omega} \quad (1-15-557)$$

ω —— 卷纸电动机角速度(1/s), 在压光机线速度不变的情况下, 随纸辊直径而变

A —— 常数

I_1 —— 不变损耗电流(A)

$$I_1 = B \quad (1-15-558)$$

B —— 常数

I_2 —— 可变损耗电流(A)

$$I_2 = C\omega \quad (1-15-559)$$

C —— 常数

2. 张力测量发电机的励磁电压的控制计算

【说明】 为了保证卷纸电动机电流按照式1-15-556规律变化, 以维持张力恒定, 因此, 设计时使得张力测量发电机励磁电压满足下式。

【公式】

$$U = U_1 - (U_2 + U_3) \quad (1-15-560)$$

式中 U —— 励磁电压(V)

U_1 —— 与卷纸电动机电枢电流 I 成正比

U_2 —— 取自卷纸电动机端电压, 近似与 ω (角速度) 成比例, 也即与可变损耗电流 I_2 (见式1-15-559) 成比例

U_3 —— 取自恒定电压, 与不变损耗电流 I_1 成比例

3. 发电机电枢电压的计算

【说明】 在上述情况下, 测量发电机电枢电压近似等于其电势。

【公式】

$$U = K_3 I_k \omega \quad (1-15-561)$$

式中 U —— 电枢电压(V)

K_3 —— 常数

I_k —— 张力电流(A), 见式1-15-557

ω —— 同前

(十九) 超级压光机的功率计算

【说明】 超级压光机所需的传动功率可用单位指标法计算。

【公式】

$$N = KbVn \quad (1-15-562)$$

式中 N —— 功率(kW)

K —— 单位功率指标, 依纸粕辊硬度、纸层厚度及线压力而定, 一般 $K = 0.015 \sim$

$$0.026kW \cdot \text{min}/\text{m}^2$$

b —— 辊筒面宽(m)

V —— 超级压光机车速(m/min)

n —— 辊数

(二十) 平尺对于大跨距产生的挠度计算

【说明】 对于大幅门的超级压光机的安装,使用平尺时,应考虑到平尺对于大跨距而产生的挠度,并及时用计算办法和测量办法予以调整。

【公式】

$$f = \frac{W}{EI} \cdot \frac{L^3}{24} \left(\frac{X}{L} - \frac{2X^3}{L^3} - \frac{X^4}{L^4} \right) \quad (1-15-563)$$

式中 f —— 挠度(m)

W —— 水平尺自重(N)

E —— 平尺材料的弹性模数(N/m²)

L —— 两水平支点间的距离(m)

X —— 由点到所要求下挠度点间的距离(m)

I —— 平尺断面的惯性矩(m⁴)

(二十一) 纸粕辊的压制中套纸次数计算

【说明】 压制一根纸粕辊要分几次套纸,每次套纸的数量并不相同,每次要多少数量,由各制造厂编织的工艺决定。一般纸粕辊幅门为1m左右的要分4~5次套纸;纸粕辊幅门在2m之内分5~7次套纸。套纸的次数愈多,愈容易使整个纸粕辊的纸页受压均匀,纤维的弹性变形易趋向一致,但套纸的次数太多,纸粕辊的生产周期太长,影响产量。每次套纸的数量也不一样,首次加纸量最多,逐次减少,末次最小。

【公式】

$$n = 3B + 1 \quad (1-15-564)$$

式中 n —— 每根纸粕辊所需套纸次数(取整数)

B —— 纸粕辊的幅度(m)

(二十二) 纸粕层的硬度计算

【说明】 纸粕辊的硬度主要采用布氏硬度和肖氏硬度两种表示方法,现在多数都用肖氏硬度计直接测量,从硬度计上得到读数。肖氏硬度计有O、A、B、C、D五种,测量时必须注意保证仪器和辊面垂直和使用的正确性才能得出比较正确的值。

所谓布氏硬度是把淬火高碳钢或碳化钨制的坚硬钢球,放在纸粕辊辊筒的平滑表面(AB)上,加钢球一定的压力,这样,辊上就会印出一个球印直径为 $ab(d_1)$ 、深度为 t 的凹痕。用这种凹痕的球形面积,除所加的重量 P 就是布氏硬度值。参见图1-15-75

【公式】

$$H_B = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d_1^2})} \quad (1-15-565)$$

式中 H_B —— 布氏硬度

P —— 钢球所承受的载荷(kg)

D —— 钢球直径(mm)

d_1 —— 压印凹痕的直径(mm)

(二十三) 纸粕辊轴尺寸的计算

【说明】 纸粕辊轴的尺寸主要计算或验算锁片槽的轴颈直径 d 和槽肩的厚度 B 。因为纸粕辊上锁片后轴颈轴向受力, d 是轴芯最薄弱的受拉面。见图 1-15-76

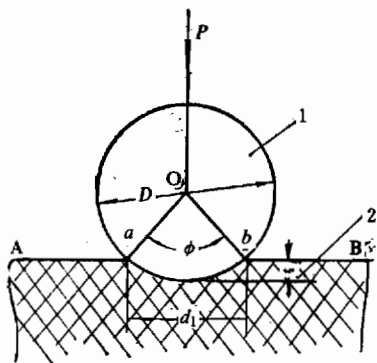


图1-15-75 布氏法测纸粕辊硬度

1—钢球 2—纸粕辊

1. 轴颈直径 d

【公式】

$$d = K \sqrt{\frac{4P}{2\sigma}} \quad (1-15-566)$$

式中 d —— 在一定的剩余压力下锁片处的轴允许的最小直径(m)

P —— 上锁后的剩余总压力(N)

σ —— 允许拉应力(Pa)

K —— 系数

2. 轴端槽肩厚度 B

【公式】

$$B = K \frac{P}{\pi d_1 \tau} \quad (1-15-567)$$

式中 B —— 槽肩厚度(m)

P —— 辊筒剩余总压力(N)

τ —— 钢轴允许剪应力(Pa)

K —— 系数

d_1 —— 扇形销内孔直径(m)

3. 辊轴外径 D

【说明】 确定辊轴的外径 D , 除了和强度计算有直接关系外, 也与纸粕辊外径和填料层的厚度有关。一般直径 D 是根据纸粕辊所要求的外径及填料层(即纸层)的厚度来确定(有的厂是把所需纸粕辊的外径的一半, 再加20mm), 然后再进行强度验算而得。也可按许用压应力进行计算或验算。

【公式】

$$D = K \sqrt{\frac{4P}{\pi \delta_{\text{E}}} + d^2} \quad (1-15-568)$$

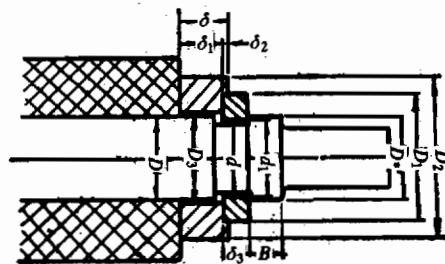


图1-15-76 辊轴主要尺寸计算图

式中 D —— 辊轴外径(m)
 d' —— 锁片销内径(m)
 P —— 剩余总压力(N)
 $\delta_{\text{压}}$ —— 抗压许用应力(Pa)
 K —— 常数

4. 压盘厚度 δ

【说明】 压盘在纸粕辊中主要受力是锁销时与销子接触之处所受的剪切力。其尺寸是由内圈厚度 δ_1 和台肩高 δ_2 组成。

【公式】

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (1-15-569)$$

式中 δ —— 压盘厚度(m)

δ_1 —— 压盘内圈厚度(m)

$$\delta_1 = K \frac{P}{\pi D_1 \tau} \quad (1-15-570)$$

P —— 剩余总压力(N)

τ —— 允许剪应力(Pa)

D_1 —— 锁片销外径(m)

K —— 系数

δ_2 —— 台肩高(m), 其值等于预先给定的值约4mm

【注意】 压盘除了在锁销时受到剪切力之外, 在压制过程中还受到压应力, 因此, 还要具有抗弯强度和抗压强度。由于压盘压制的压力大于剩余力, 所以, 计算出的压盘厚度还应作抗弯强度的验算, 如验算出的厚度 δ'_1 大于 δ , 则应取 δ'_1 值。

5. 扇形销厚度 δ_3

【公式】

$$\delta_3 = K \frac{P}{\pi D' \tau} \quad (1-15-571)$$

式中 δ_3 —— 销子的厚度(m)

P —— 纸粕辊剩余总压力(N)

τ —— 钢材允许剪应力(Pa)

K —— 系数

D' —— 压盘孔或轴芯外径(m), 其值比 D 略大, 计算时可取同值

6. 扇形销外径 D_1

【说明】 扇形销外径是根据钢材允许的压应力 $\delta_{\text{压}}$ 来计算的。

【公式】

$$D_1 = k \sqrt{\frac{4P}{\pi \delta_{\text{压}}} + D_3^2} \quad (1-15-572)$$

式中 D_1 —— 扇形销外径(压盘台肩内径)(m)

$\delta_{\text{压}}$ —— 许用压应力(Pa)

D_3 —— 压盘内孔直径(m)

P —— 剩余总压力(N)

k —— 系数

(二十四) ZWC₁型超级压光机纸粕辊的应力验算

【说明】 ZWC₁型超级压光机 $\Phi 340 \times 1100$ mm 纸粕辊轴及其配件目前所采用的主要尺寸需根据下述公式进行应力计算。

1. 纸粕辊轴芯的拉应力验算

【说明】 参见图1-15-77

【公式】

$$\sigma_{\text{拉}} = \frac{4P}{\pi D^2} < [\sigma_{\text{拉}}] \quad (1-15-573)$$

式中 $\sigma_{\text{拉}}$ —— 拉应力(Pa)

$[\sigma]$ —— 许用拉应力(Pa)

P —— 纸粕辊压制的剩余总压力(N)

D —— 辊轴芯的直径(m)

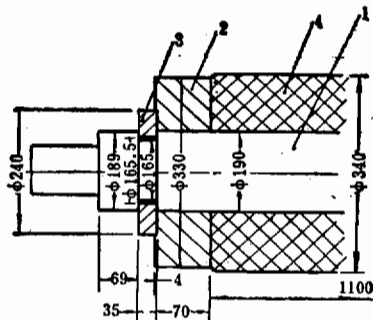


图1-15-77 $\Phi 340 \times 1100$ mm 纸粕辊轴各部尺寸

1—钢轴芯 2—压盘 3—扇板锁片 4—纸粕层

【例】 求 $\Phi 340 \times 1100$ mm 纸粕辊的辊轴平均拉应力。设压制的剩余压力 $P = 48 \times 10^5$ N, 轴芯直径 $D = 19$ cm。

解:

$$\sigma_{\text{拉}} = \frac{4P}{\pi D^2} = \frac{4 \times 48 \times 10^5}{3.14 \times 0.19^2} = 170(\text{MPa})$$

2. 压盘与锁片之间及锁片与轴的锁片槽的轴肩之间的挤压应力计算

【公式】

$$\sigma_{\text{压}} = \frac{P}{F} < [\sigma_{\text{压}}] \quad (1-15-574)$$

式中 $\sigma_{\text{压}}$ —— 压应力(Pa)

F —— 压盘与锁片或锁片与轴肩接触面积(m^2)

P —— 纸粕辊压制时剩余总压力(N)

【例】 按图1-15-77所示, $\Phi 340 \times 1100$ mm 纸粕辊的压盘和锁片平均挤压应力计算如下。设压制时剩余压力 $P = 48 \times 10^5$ N, 压盘与锁片接触面积为 $F_1 = \frac{\pi}{4}(0.24^2 - 0.19^2) = 0.0167\text{m}^2$, 则:

压盘与锁片挤压应力为:

$$\sigma_{\text{压}} = \frac{P}{F_1} = \frac{48 \times 10^5}{0.0167} = 287(\text{MPa})$$

另锁片与轴肩的接触面积为:

$$F_2 = \frac{\pi}{4}(0.19^2 - 0.1655^2) = 0.0068(\text{m}^2)$$

故锁片与轴肩的压应力为:

$$\sigma_{\text{压}} = \frac{P}{F_2} = \frac{48 \times 10^5}{0.0068} \approx 700(\text{MPa})$$

3. 锁片与锁片槽轴肩所受剪切应力的计算

【公式】

$$\tau_1 = \frac{P}{\pi D \delta_3} < [\tau_1] \quad (1-15-575)$$

$$\tau_2 = \frac{P}{\pi d_1 B} < [\tau_2] \quad (1-15-576)$$

式中 τ_1 —— 锁片所受剪切应力(Pa)

τ_2 —— 轴肩所受剪切应力(Pa)

P —— 压制的剩余总压力(N)

D —— 轴芯的直径(m)

d_1 —— 锁片销内径(m)

B —— 轴肩厚度(m)

δ_3 —— 锁片厚度(m)

【例】按图1-15-77所示的 $\Phi 340 \times 1100$ mm 辊子的有关数据如下:

$P = 48 \times 10^5$ N, $d_1 = 0.165$ m, $D = 0.19$ m, $B = 0.069$ m, $\delta_3 = 0.035$ m, 则:

$$\tau_1 = \frac{P}{\pi D \delta_3} = \frac{48 \times 10^5}{3.14 \times 0.19 \times 0.035} = 230(\text{MPa})$$

$$\tau_2 = \frac{P}{\pi d_1 B} = \frac{48 \times 10^5}{3.14 \times 0.165 \times 0.069} = 135(\text{MPa})$$

【附表】 $\Phi 340 \times 1100$ mm 纸粕辊各种条件下的受力情况见表1-15-46。

表1-15-46 $\Phi 340 \times 1100$ mm 纸粕辊不同情况下的受力情况

各种情况受压名称	表压 (MPa)	总压力 (kN)
锁销时压力	17.65~19.61	7.061~7.846
卸压、销子开始受力时压力	10.79~13.73	4.315~5.492
回烘后卸销时,销子开始松动时压力	8.83~11.77	3.531~4.707
添纸后锁销子压力	17.65~19.61	7.061~7.846
松压、销子开始受力时压力	12.26~13.73	4.904~5.492

(二十五) 纸粕辊运行时产生的热量计算

【说明】纸粕辊在运行过程中,纸粕层内部要积存一定的能量,这个能量转变成热量,就使辊筒温度升高,这种内部产生的热量给纸粕辊的维护、保养和使用都会带来不利。因此,对纸粕辊耐热性提出了较高的要求。纸粕辊运行时产生的热量以纸粕辊单位长度积存的能量表示。

【公式】

$$Q_s = 2.5 \frac{\pi - 2}{\pi^{3/2}} H \cdot P^{3/2} V \sqrt{\frac{D_1 + D_2}{2D_1 D_2} \cdot \frac{E_2}{E_1(E_1 + E_2)}} \quad (1-15-577)$$

式中 Q_s —— 纸粕辊单位长度积存的能量[J/(s·m)]

H —— 纸粕辊纸粕层的滞后系数

P —— 剪断压力(Pa)

D_1, D_2 —— 相邻二辊的直径(m)

E_1 —— 纸粕辊的纸粕层的杨氏模量(Pa)

E_2 —— 纸粕辊轴芯的杨氏模量(Pa)

V —— 纸粕辊的工作速度(m/s)

(二十六)退纸轴制动器热损失的计算

【说明】 为了使纸幅具有所需的张力,退纸卷的轴要连接制动器。制动器的另一作用是当纸幅断头时能在短时间内制动退纸卷,以尽量减少损纸。制动器通常有机械的和电子的两种,机械制动器中因利用摩擦力进行制动,必然存在热损失,因此,必须充分注意散热。

【公式】

$$Q = 3.6PV \quad (1-15-578)$$

式中 Q —— 制动器热损失(kJ/h)

P —— 纸幅总张力(N)

V —— 纸幅线速度(m/s)

四、复卷机的工艺计算

(一)复卷机的生产能力计算

【说明】 如用单位时间内所卷取的纸幅的平均长度来表示复卷机的生产能力(即不考虑其宽度的影响),则其生产能力可用下式计算。

【公式】

$$Q = \frac{L}{t_0} = \frac{L}{t_1 + t_2} \quad (1-15-579)$$

式中 Q —— 生产能力(m/min)

L —— 卷取纸幅的长度(m)

$$L = \frac{\pi D^2}{4\delta} \quad (1-15-580)$$

D —— 纸卷直径(m)

δ —— 纸的厚度(m)

t_0 —— 一个复卷周期所需时间(min)

t_1 —— 卷纸时间(min)

t_2 —— 辅助工序所需的时间(纸卷的安放、卸除、引纸及粘接断头等的时间)(min)

【讨论】 复卷机真正在最高车速下运转的时间是很短的,相反,用在辅助工序上的时间所占的比重越来越大,因此,进一步提高其车速没有很大的实际意义;相反,使辅助工序机械化,减少辅助工序所需的时间,对提高复卷机的生产能力是很有意义的。

当复卷车速 t_1 趋向于零时的生产能力称为极限生产能力,即:

$$Q_{\text{极}} = \frac{L}{t_2} \quad (1-15-581)$$

【例】 某台复卷机复卷瓦楞纸的厚度为 0.25mm,纸卷直径为 600mm,实际辅助工序所需时间为 6min,求:①复卷的极限生产能力? ②如卷取的纸卷直径增加 1 倍,达到

1200mm 时,复卷机的极限生产能力为多大?

解:

$$\textcircled{1} L = \frac{\pi D^2}{4\delta} = \frac{3.14 \times 0.6^2}{4 \times \frac{0.25}{1000}} = 1130(\text{m})$$

$$Q_{\text{取}} = \frac{L}{t_2} = \frac{1130}{6} = 188(\text{m/min})$$

$$\textcircled{2} L = \frac{\pi D^2}{4\delta} = \frac{3.14 \times 1.2^2}{4 \times \frac{0.25}{1000}} = 4522(\text{m})$$

$$Q_{\text{取}} = \frac{L}{t_2} = \frac{4522}{6} = 754(\text{m/min})$$

从以上计算可以看出,为了减少辅助工序的时间,应尽可能地增大造纸机的卷纸机卷取纸卷的直径,这同样能明显地提高复卷机的生产能力。

(二)压纸辊的压力调整计算

【说明】 压纸辊的作用力对卷纸紧度有较大的影响。压力调节机构的作用是保持纸卷与支承辊间压区的压力稳定(约为 $1 \sim 1.2\text{kN}$),这就防止在初卷时因卷纸轴太轻而打滑以及在复卷后期因压力太大而卷得太紧。对某些纸种来说,压纸辊应是有传动的,以便对纸幅施加附加压力。见图 1-15-78。

1. 支承辊上的总垂直负荷 G 的计算

【说明】 支承辊上的总垂直负荷 G 由纸卷的重力 G_1 、卷纸轴的重力 G_2 和压纸辊的重力 G_3 所组成。

【公式】

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (1-15-582)$$

式中 G ——总垂直负荷(N)

G_1 ——纸卷的重力(N)

G_2 ——卷纸轴的重力(N)

G_3 ——压纸辊的重力(N)

2. 纸卷和支承辊之间的线压力 q 的计算

【公式】

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{G}{2b\cos\alpha} \quad (1-15-583)$$

式中 q ——线压力(N/m)

b ——纸卷宽度(m)

α ——垂直线与纸卷和支承辊的联心线之间的夹角(度)

$$\alpha = \arcsin \frac{a}{R+r}$$

a ——两支承辊间中心距之半(m)

R ——纸卷半径(m)

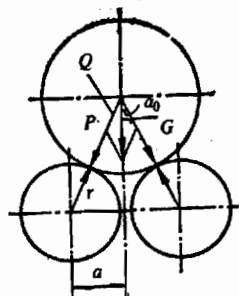


图 1-15-78 纸卷和支承辊的压力

r —— 支承辊半径(m)

3. 链轮偏心机构悬称力的计算

【说明】 在旧式复卷机上,压力调整机构是采用机械的悬称装置。为了增加悬称力,而将重物挂在固定于横轴上的凸轮或偏心的链条上。在该轴上装有链轮,用链条与压纸辊或纸卷轴相接。纸卷直径增大时,横轴就转动,使重物固定端的凸轮臂增长,这就能使悬称力增加。有时把链轮偏心地安装在横轴上以代替凸轮(见图 1-15-79)。链的一端固定在悬称重物上,另一端固定在压纸轴中心和它的几何中心位于某一水平面上,根据开始位置时的平衡条件(此时纸卷直径最小),即可计算悬称力,同样,也可计算出纸卷直径最大时悬称力及两者之差。

(1) 当纸卷直径最小时的悬称力 Q_1

【公式】

$$Q_1 = G \frac{R - e}{R + e} \quad (1-15-584)$$

式中 Q_1 —— 悬称力(N)

G —— 悬称的重力(N)

R —— 链轮半径(m)

e —— 偏心距(链轮旋转中心与其几何中心之间的距离)(m)

(2) 当纸卷直径最大时的悬称力 Q_2

【公式】

$$Q_2 = G \frac{R + e}{R - e} \quad (1-15-585)$$

式中符号含义及单位同上

(3) 纸卷最大及最小直径时的悬称力之差 Q_0

【公式】

$$Q_0 = Q_2 - Q_1 = G \frac{4Re}{R^2 - e^2} \approx G \frac{4e}{R} \quad (1-15-586)$$

式中符号含义及单位同上

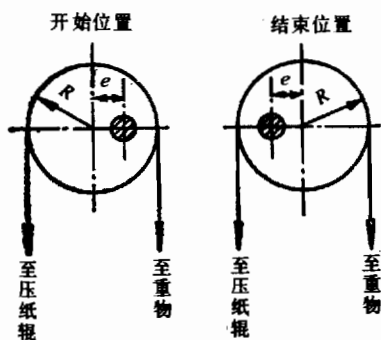


图 1-15-79 机械式悬称机构悬称力计算

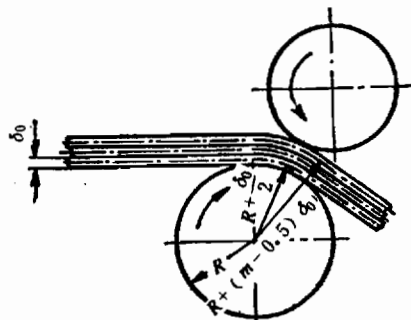


图 1-15-80 送纸卷送纸图

(三) 复卷机制动器的力矩计算

【说明】 当复卷机使用制动发电机作制动器时,因其车速较高,必须设法缩短所需的制动时间,其制动力矩可计算如下。

1. 使退纸卷停转所需的制动力矩 M_T

【公式】

$$M_T = \frac{GV_{\max}D}{4gt} \quad (1-15-587)$$

式中 M_T —— 制动时所需要的摩擦力矩(N·m)

V_{\max} —— 退纸卷在制动开始时最大圆周速度(m/s)

G —— 退纸卷重量(N)

D —— 退纸卷最大直径(m)

t —— 制动时间(s)

2. 形成纸幅张力所需的制动力矩 M

【公式】

$$M = \frac{QD}{2} \quad (1-15-588)$$

式中 M —— 制动力矩(N·m)

Q —— 纸幅恒张力(N)

D —— 纸卷的最大直径(m)

3. 停转与纸幅张力制动力矩之比

【公式】

$$\frac{M_T}{M} = \frac{GV_{\max}}{2gtQ} \quad (1-15-589)$$

式中符号含义及单位同上

【例】某复卷机以 900m/min 的车速运转,当退纸卷重量为 3000kg(纸卷直径 1200mm)而幅宽为 4200mm 时,制动时间为 6~8s,并在纸幅张力 $q = 0.3\text{kN/m}$ 及 $Q = qb = 0.3 \times 4200 = 1260(\text{N})$ 的条件下,求使复卷机停转的制动力矩与形成纸幅张力所需制动力矩之比。

解:

$$\frac{M_T}{M} = \frac{GV_{\max}}{2gtQ} = \frac{3000 \times 9.81 \times \frac{900}{60}}{2 \times 9.81 \times 8 \times 1260} = 2.23$$

(四)纸卷支承辊的载荷计算

【说明】支承辊用以支承纸卷。计算支承辊上的载荷时,除其自重和由纸卷产生的压力外,还应考虑由于纸卷可能出现的偏心距 e 而产生的离心力。不计算纸卷压力与垂直方向有偏差,而将支承辊上的各载荷作为代数和相加,这将使安全系数增大。

【公式】

$$Q = G_1 + G_2 - G_3 \quad (1-15-590)$$

式中 Q —— 支承辊的载荷(N)

G_1 —— 支承辊自重(N)

G_2 —— 纸卷重力(N)

G_3 —— 由于纸卷偏心而产生的动载荷(N)

$$G_3 = \frac{\pi b \gamma V^2 e}{g} \quad (1-15-591)$$

b —— 纸幅宽度(m)

γ —— 纸卷容重(N/m³)

V —— 纸卷线速(m/s)

e —— 偏心距(m), 一般为 0.003~0.005m。

(五)复卷机所需功率的计算

【说明】 复卷机所需的功率 N 主要决定于幅宽、纸的张力和车速,通常采用单位指标法计算其功率。

【公式】

$$N = 0.25 \times 10^{-3} qbv \quad (1-15-592)$$

式中 N —— 功率(kW)

q —— 纸的张力(kg/cm)

b —— 纸的宽度(cm)

v —— 车速(m/min)

五、切纸机及接纸装置的计算

(一)切纸机的纵切切纸长度及误差率的计算

【说明】 送纸辊克服纸卷制动器的摩擦力牵引着纸幅通过纵切机构并送入横切机构,送纸轴由一个带传动的大直径钢制下辊(有时也包胶)与一个小直径的包胶上辊组成(见图 1-15-80)。下辊的线速度决定了切纸机的送纸速度,也就是切纸机的车速。为了保证切纸长度准确,要保证纸幅与下辊不打滑;同时,应使纸幅摩擦力等于送纸辊前的纸幅张力的 1.5~2 倍,纸幅与下辊及纸幅相互间的摩擦系数 f ,根据纸的平滑度而定,一般可取为 0.1~0.15。

1. 下层纸幅的切纸长度计算

【说明】 当同时切 m 层纸幅时,下层纸幅的切纸长度可用下式计算。

【公式】

$$a = \omega(R + 0.5\delta) \quad (1-15-593)$$

式中 a —— 下层纸幅的切纸长度(m)

ω —— 下送纸辊的角速度(1/s)

δ —— 纸的厚度(m)

R —— 下送纸辊半径(m)

2. 上层切纸长度差的计算

【公式】

$$\Delta a = \omega(m - 1)\delta \quad (1-15-594)$$

式中 m —— 切纸层数

其它同上

3. 上、下层切纸长度误差率的计算

【公式】

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{(m - 1)\delta}{R + 0.5\delta} \quad (1-15-595)$$

式中符号含义及单位同上

【讨论】 由于在送纸辊的压力下,纸幅厚度偏小,而且上层纸幅比下层纸幅有较大的

张力,因此,切纸长度误差率实际上比理论计算值为小。

(二)切纸机横切切纸长度的计算

【公式】

$$a = \pi D \frac{V}{V_H} \quad (1-15-596)$$

式中 a ——横切机切纸长度(m)

D ——刀刃所在处圆的直径(m)

V ——纸幅速度(m/min)

V_H ——刀刃的线速(m/min)

【讨论】 ①为了取得光滑的切口,最好能保证 $V_H > V$ 的条件,然而要满足这个条件,只能在 $a < \pi D$ 范围内才能保持。

②改变刀辊转速或纸速均能改变切纸的长度,而以前者较为合理,因此时可在切纸机车速不变的情况下而保持其生产能力。

(三)横切剪纸时间的计算

【说明】 刀片在刀辊上不是沿平行于其轴线的方向来装配的,而是沿螺旋线装配的,这样,延长了剪切时间,并由此减少了剪切时的功率及应力。

1. 沿轴线平行装刀时的剪切时间计算

【公式】

$$t_1 = \frac{\delta}{V_H} = \frac{60\delta}{\pi D n} \quad (1-15-597)$$

式中 t_1 ——剪切时间(s)

δ ——刀厚(m)

D ——刀刃处圆的直径(m)

n ——刀辊转速(r/min)

V_H ——刀刃的线速(m/s)

2. 沿螺旋线装刀时的剪切时间计算

【公式】

$$t_2 = K t_0 = K \frac{60}{n} \quad (1-15-598)$$

式中 t_2 ——剪切时间(s)

t_0 ——刀辊每转一周所需时间(s)

K ——刀辊常数,一般为0.03~0.07

$$K = \frac{b_0}{S} = \frac{\gamma}{360} \quad (1-15-599)$$

b_0 ——刀辊长度(m)

S ——螺旋线的节距(m)

γ ——偏角(度),见图1-15-81

其它同上

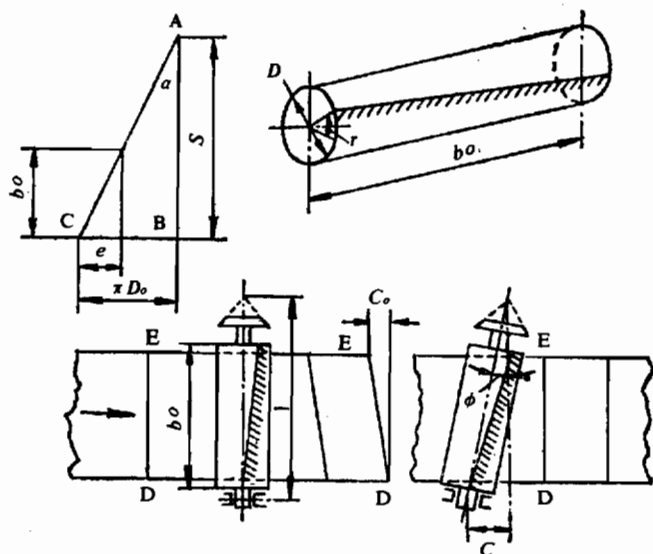


图1-15-81 刀片沿螺旋线装刀及横切机构的偏移

(四) 剪切功率的计算

【说明】 沿轴线平行装刀与沿螺旋线装刀时的剪切功率 N_1 、 N_2 及剪切力 P_1 、 P_2 的比值计算如下。

【公式】

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{K\pi D}{\delta} \quad (1-15-600)$$

式中符号含义及单位同前

【例】 当 $K = 0.053$, $\delta = 0.001\text{m}$, $D = 0.45\text{m}$ 时, 求 $\frac{N_1}{N_2}$ 及 $\frac{P_1}{P_2}$ 。

解:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{K\pi D}{\delta} = \frac{0.053 \times 3.14 \times 0.45}{0.001} = 75$$

即沿轴线平行装刀的剪切功率和剪切力为沿螺旋线装刀的75倍。

(五) 横切机底刀和旋转刀的偏移值的计算

【说明】 对于单组双刀辊式横切机构, 底刀及刀辊所在的横梁在操作侧靠螺杆来移动。切纸长度改变时, 必须改变底刀和旋转刀的偏移值, 偏移值的大小由工作侧的标尺来指示。

【公式】

$$C_0 = V \frac{K\pi D}{V_H} \quad (1-15-601)$$

式中 C_0 —— 偏移值(m)

V —— 纸幅线速度(m/s)

V_H —— 刀刃的线速度(m/s)

其它同上

(六)接纸台的升降速度计算

【说明】 接纸台或送纸带随着纸垛的增高而升降的必要速度可用下式计算。

【公式】

$$V_n = \delta n = \frac{\delta V}{a} \quad (1-15-602)$$

式中 V_n ——接纸台升降速度(m/min)

δ ——纸厚(m)

V ——纸速(m/min)

a ——切纸长度(m)

n ——层数

$$n = \frac{V}{a}$$

六、纸的整装的工艺计算

(一)纸的令重(英制)的计算

【说明】 纸的定量在英制中以每令的磅数表示,一令纸可以是480或500张,而且纸张的大小是不相同的,箱板纸的定量一般情况下是按每1000ft²的重量来计算。各种等级纸的每令尺寸见表1-15-47。在工厂中测纸的令重时,习惯上采用的样品是已精确裁切成恰当的令的尺寸,这样就可以直接从标尺上测出定量来。常规检验时用样板裁切纸样,经常为某种令尺寸的1/2或1/4,所以从实物上取来的样张必须折叠两次或四次。如果只有小的样品,最好是用分析天平称重,然后把读数用下式换算。

【公式】

$$W_x = 1.102 W_s \frac{A_x}{A_s} \cdot \frac{N}{500} \quad (1-15-603)$$

式中 W_x ——所要求的令重(lb/令)

W_s ——样品重量(g)

A_x ——令尺寸每张的面积(ft²)

A_s ——样品的面积(m²)

N ——每令张数

【注意】 上式是根据把每张的克数利用因次1.102换算成500张的磅数。

(二)纸的令重(SI制)的计算

【说明】 下式为平板纸规格为1092×787mm的纸张令重的计算经验公式。每令按500张计。

【公式】

$$W = 0.43q \quad (1-15-604)$$

式中 W ——纸的令重(kg/令)

q ——纸的定量(g/m²)

【例】 求定量为50g/m²书写纸的令重。

解: $W = 0.43 \times 50 = 21.5$ (kg/令)

(三)不同尺寸的令重及定量间的相互换算

【说明】 把令重从一种定量换算成另一种定量时的换算因数见表1-15-48。

表1-15-47

不同纸种令的基本尺寸

纸 的 品 种	令 的 尺 寸(in)
书籍和胶印纸	25×38
吸水纸	19×24
光泽纸板	$22\frac{1}{2} \times 28\frac{1}{2}$
纸箱糊面纸	20×24
书皮纸(封面纸)	20×26
手稿封面纸	18×31
索引卡片	$25\frac{1}{2} \times 30\frac{1}{2}$
标签和卡纸板	$22\frac{1}{2} \times 28\frac{1}{2}$
新闻纸	24×36
证券、书写、帐簿和打字纸	17×22
壁纸原纸、蜡纸原纸、包装纸和薄纸	24×36
薄纸(可选择)	20×30

表1-15-48

不同尺寸的令重及定量间的相互换算因数

重 量	g/m ²	ib										
		17× 22× 500	22 ^{1/2} × 28 ^{1/2} ×500	22× 34× 500 或17 ×22 × 1000	24× 36× 500	24× 36× 480	24× 37× 500	25× 38× 500	25× 40× 500	30× 40× 500	25× 40× 1000	lb/ 1000 ft ²
g/m ²	1.000	0.266	0.456	0.532	0.614	0.590	0.631	0.676	0.711	0.853	1.423	0.205
lb												
17×22×500	3.759	1.000	1.715	2.000	2.311	2.219	2.374	2.541	2.675	3.209	5.348	0.770
22 ^{1/2} ×28 ^{1/2} ×500	2.193	0.583	1.000	1.166	1.347	1.293	1.385	1.471	1.560	1.871	3.119	0.449
22×34×500	1.880	0.500	0.857	1.000	1.155	1.109	1.187	1.270	1.337	1.604	2.674	0.385
17×22×1.000												
24×36×500	1.627	0.433	0.742	0.866	1.000	0.960	1.028	1.100	1.158	1.389	2.315	0.333
24×36×480	1.695	0.451	0.773	0.902	1.041	1.000	1.070	1.145	1.206	1.447	2.411	0.347
24×37×500	1.583	0.421	0.722	0.842	0.973	0.934	1.000	1.070	1.126	1.351	2.252	0.324
25×38×500	1.480	0.394	0.675	0.787	0.909	0.873	0.935	1.000	1.052	1.263	2.105	0.303
25×40×500	1.406	0.374	0.641	0.748	0.864	0.829	0.888	0.950	1.000	1.200	2.000	0.288
30×40×500	1.172	0.312	0.534	0.623	0.720	0.691	0.740	0.792	0.833	1.000	1.667	0.240
25×40×1000	0.703	0.187	0.321	0.374	0.432	0.415	0.444	0.475	0.500	0.600	1.000	0.144
lb/1000ft ²	4.882	1.299	2.226	2.597	3.000	2.880	3.083	3.298	3.472	4.167	6.944	1.000

【例】 已知尺寸为17×22(in)×500(张)的令重为24lb,求折合成尺寸为25×38×500的令重以及定量(g/m²)分别是多少?

解:查表1-15-48得,尺寸为17×22×500的纸转化为25×38×500及定量 g/m²的换算因数分别为2.541及3.759,故:

折合为25×38×500时的令重为:

$$24(\text{lb}) \times \text{换算因数} = 24 \times 2.541 = 61(\text{lb/令})$$

折合为 g/m^2 的定量为:

$$24 \times \text{换算因数} = 24 \times 3.759 = 90(\text{g/m}^2)$$

(四) 令重(英制)与定量(g/m^2)间的相互换算

1. 把令重($\text{lb}/500$ 张纸页)换算成定量(g/m^2)

【公式】

$$q = \frac{1406 \times G}{A} \quad (1-15-605)$$

式中 q —— 纸的定量(g/m^2)

G —— 令重($\text{lb}/500$ 张)

A —— 纸页面积(in^2)

【例】 求令重为 $24\text{lb}(17 \times 22 \times 500)$ 的定量。

解:

$$q = \frac{1406G}{A} = \frac{1406 \times 24}{17 \times 22} = 90.2(\text{g/m}^2) = 90(\text{g/m}^2)$$

2. 把定量(g/m^2)换算成令重($\text{lb}/500$ 张)

【公式】

$$G = 0.000711qA \quad (1-15-606)$$

式中符号含义及单位同上

【例】 求定量为 90g/m^2 纸的令重(lb)($17 \times 22 \times 500$)

解:

$$G = 0.000711qA = 0.000711 \times 90 \times 17 \times 22 = 24(\text{lb})$$

3. 令重与定量(g/m^2)的换算系数

【说明】 令重或英制定量与克重每平方米之间的换算系数见表1-15-49。

表1-15-49

令重或英制定量与克重每平方米的换算系数表

纸 张 品 种	商 业 规 格 500张一令(in)*	克重每平方米*换算 成令重或英制定量	令重换算成克 重每平方米**
书写纸和印刷纸	17×22	0.266	3.760
英国纸张标准规格	17 ¹ / ₂ ×22 ¹ / ₂	0.280	3.571
吸墨水纸	19×24	0.324	3.083
书 皮 纸	20×26	0.370	2.704
薄 页 纸(双王冠规格)	20×30	0.427	2.343
卡 板 纸	22×28	0.438	2.282
光泽纸和标签纸	22 ¹ / ₂ ×28 ¹ / ₂	0.456	2.195
新闻纸和包装纸	24×36	0.614	1.627
书 籍 纸	25×38	0.675	1.480
成型器标准规格	25×40	0.711	1.406
纸 板	1,000英尺 ²	0.205	4.881

注:* 如果绘出的商业规格是480张纸页一令,那么该系数应乘以 $\frac{480}{500}$ (或0.960);

** 如果绘出的商业规格是480张纸页一令,那么该系数应乘以1.042。

(五) 纸的定量、令重及吨令的速查

【说明】 纸的定量、令重及吨令之间的关系可用表1-15-50进行速查(每令纸为500

张)。

表1-15-50

定量、令重及吨令速查表

787×1092			787×1092			787×1092			787×1092		
g/m ²	kg/令	令/t	g/m ²	kg/令	令/t	g/m ²	kg/令	令/t	g/m ²	kg/令	令/t
16	6.9	145.45	30	12.89	77.57	65	27.93	35.8	150	64.5	15.51
17	7.31	136	35	15.05	66.49	70	30.1	33.25	200	86.0	11.64
20	8.6	116.36	45	19.3	51.71	80	34.4	29.09	250	107.33	9.31
22	9.46	105.78	50	21.5	46.54	90	38.67		300	129.0	7.76
25	10.7	93.08	52	22.36	44.75	100	43.0	23.27	400	172.0	5.82
28	12.04	83.11	60	25.78	38.78	120	51.56	19.39	450	193.5	5.17

第六节 长网造纸机的综合工艺计算

一、造纸机的生产能力及产量的计算

(一) 纸机抄造量的计算

1. 实际抄造量的计算

【说明】 实际抄造量指纸页经滤水、压榨、干燥后的实际产量，即卷纸机实际卷取的纸量。对于湿抄纸板是指经热压干后，切选、超级压光之前的产量。计算中不考虑该量是否为合格品，回抄量也应包括在内。

【公式】

$$G = G_1 + G_2 \quad (1-15-607)$$

式中 G —— 实际抄造量(kg)

G_1 —— 合格成品量(kg)；指经过切选、包装、打件后合格品的量(包括裁纸中的合格品)，不包括等外品、不合格品及小裁纸等

G_2 —— 完成损纸量(kg)；包括碰坏纸、剥层损纸、轴底损纸、切纸损纸、数纸损纸以及等外品、不合格品和小裁纸等

【例】 某厂甲班生产二号凸版纸，平均每天生产合格品7061kg，次级品300kg，小裁纸200kg；裁纸中不合格品100kg，完成损纸99kg，问该班平均抄造量多少 kg？

解：

$$G = G_1 + G_2 = 7061 + (300 + 200 + 100 + 99) = 7760(\text{kg})$$

2. 理论抄造量的计算

【说明】 理论抄造量指造纸机在一定技术条件下、一定作业时间内的最大抄造量。

【公式】

$$G_0 = G + G_3 \quad (1-15-608)$$

$$\text{或} \quad G_0 = \frac{60VB_m q T}{1000} = 0.06VB_m q T \quad (1-15-609)$$

式中 G_0 —— 纸机理论抄造量(kg)

G —— 实际抄造量(kg)，同式1-15-607

G_3 ——抄造损纸量(kg),即纸机在抄造过程中产生的损纸。不包括网部水针纸边和卷取后再压光的损纸;各部位的抄造损纸要分别计量,并折算成与抄造量相同的水分计算

$$G_3 = \frac{VB_mqt}{1000} \quad (1-15-610)$$

V ——纸机平均抄速(m/min)

B_m ——抄宽(m),即卷纸机上的毛纸幅宽

q ——纸的定量(g/m^2)

t ——断纸时间(min)

T ——纸机作业时间(h)

【例】某长网多缸文化纸机生产 $52g/m^2$ 二号凸版纸,平均抄速 $150m/min$,抄宽 $2.412m$,日生产 $22.5h$,计算每日理论抄造量?

$$\begin{aligned} \text{解: } G_3 &= \frac{60VB_mqT}{1000} \\ &= \frac{60 \times 150 \times 2.412 \times 52 \times 22.5}{1000} \\ &= 25398.36(kg/d) \\ &= 25.4(t/d) \end{aligned}$$

(二)造纸机的理论产量计算

1. 单位时间产纸量的计算

【公式】

$$G = 0.06qB_mV \quad (1-15-611)$$

式中 G ——纸机单位时间产纸量(kg/h)

V ——车速(m/min)

q ——定量(g/m^2)

B_m ——抄宽(m)

【例】某1760纸机生产 $60g/m^2$ 双胶纸,车速为 $120m/min$,纸的切边宽度为 $40mm$,求理论产量。

$$\begin{aligned} \text{解: } G &= 0.06qB_mV \\ &= 0.06 \times 60 \times (1.760 + 0.040) \times 120 \\ &= 777.6(kg/h) \end{aligned}$$

2. 单位时间理论绝干纸产量计算

【公式】

$$G = \frac{qB_mVTc}{1000} \quad (1-15-162)$$

式中 G ——单位时间理论绝干纸产量(kg/min)

Tc ——成纸干度(%)

其它同式1-15-611

【例】某1760纸机生产 $52g/m^2$ 凸版纸,车速为 $180m/min$,成纸干度为 93% ,求绝干纸产量。

$$\text{解: } G = \frac{qB_mVTc}{1000}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{52 \times \left(\frac{1760+40}{1000} \right) \times 180 \times 93\%}{1000} \\
 &= 15.67 (\text{kg/min})
 \end{aligned}$$

(三)造纸机的实际产量(生产能力)的计算

【公式】

$$G = \frac{0.06qB_mVK_1K_2K_3}{1000} \quad (1-15-613)$$

式中 G —— 造纸机的实际产量(t/d)

V —— 纸机的工作车速(m/min)

k_1 —— 平均每日有效生产时数(h), 一般为22~23h

k_2 —— 抄造率(%), 指在卷纸机处成纸的完成率, 即扣除纸机断头空运转时数后的比率, 一般为95%~98%

$$k_2 = \frac{W}{W + W_1} \times 100\% \quad (1-15-614)$$

W —— 抄造量(t/d)

W_1 —— 抄造损失量(t/d), 包括纸机的断头损纸量、纸轴换轴损纸、各道压榨损纸; 但水针纸边不是抄造损纸, 所有抄造损纸, 均应折合与抄造量相同的水分来计算

k_3 —— 成品率(%), 即所生产合格成品的比率(扣除了切选损失), 对一般纸张要求达到93%~98%, 对薄页纸张取88~90%

【例1】某纸机以200m/min 车速生产定量为100g/m²的纸, 净纸幅宽为3000mm, 求:
①每小时的理论产量为多少? ②每天的产量为多少? ③一天内, 该纸机断纸30min, 除断纸损失外, 还有0.5t 损失纸送打浆机回抄, 求一天的实际产量是多少?

解: ①每小时产量 G_1

$$G_1 = \frac{0.06qB_mv}{1000} = \frac{0.06 \times 200 \times \frac{3000}{1000} \times 100}{1000} = 3.6 (\text{t/h})$$

②日产量 G_2

$$G_2 = G_1 \times 24 = 3.6 \times 24 = 86.4 (\text{t/d})$$

③断头30mm, 纸机空运转损失产量 G_3

$$G_3 = G_1 \times \frac{30}{60} = 3.6 \times \frac{1}{2} = 1.8 (\text{t/d})$$

抄造损失量 $G_4 = G_3 + \text{送回打浆机部分量} = 1.8 + 0.5 = 2.3 (\text{t/d})$

实际日产量 = $G_2 - G_4 = 86.4 - 2.3 = 84.1 (\text{t/d})$

【例2】一台净纸幅宽为1760mm 的纸机生产60g/m²书写纸, 车速为87m/min, 抄造率为96%, 合格率为95%, 日工作量为22.5h, 求该纸机的日产量为多少?

解:

$$Q = 0.06qB_mVK_1K_2K_3$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.06 \times 60 \times \left(\frac{1760+50}{1000} \right) \times 87 \times 22.5 \times 96\% \times 95\%}{1000} \\
 &= 12.6 (\text{t/d})
 \end{aligned}$$

(四)纸机产量及班产纸令数估算

【说明】 在实际生产中,可根据口诀来估算纸机的产量及每班产纸的令数。

1. 纸机产量估算

【口诀】 顺裁一幅日产量,车速乘以米平量,这个数字是千克,已去损纸一成二;横裁纸机加四成,损纸只去一成一。

【例】 试估算车速100m/min,定量60g/m²的纸机产量。

解: 顺裁: $G = 100 \times 60 = 6000(\text{kg/d})$

横裁: $G = 100 \times 60(1 + 40\% - 11\%)$
 $= 7740(\text{kg/d})$

2. 每班(八小时)产纸令数估算

【口诀】 常规顺裁一幅机,每班能产几令纸?车速乘零点八八,再去损纸便得知;若是横裁一幅机,系数一点又二二。

【公式】

$$n = V \times 0.88(1 - S)(\text{顺裁}) \quad (1-15-615)$$

$$n = V \times 1.22(\text{横裁}) \quad (1-15-616)$$

式中 n —— 班产令数

V —— 车速(m/min)

S —— 损纸量(%),一般可取11%

0.88、1.22 —— 分别为顺裁及横裁系数

【例】 试估算车速为80m/min的机台每班产纸令数。

解:顺裁: $n = V \times 0.88 \times (1 - S)$

$$= 80 \times 0.88(1 - 11\%)$$

$$= 62.66(\text{令/班})$$

横裁: $n = V \times 1.22$

$$= 80 \times 1.22$$

$$= 97.6(\text{令/班})$$

(五)纸机成品纸的产量计算

【例】 某造纸厂每天木浆用量80t(绝干),造纸机成形部纤维保留率为60%,包含其余部分纤维的白水,除其中10%从网坑溢流损失外,其余循环使用。成纸水分7%。纸页通过完成部作为损纸损失15%,其中损纸的10%为不可回收损失,损纸的其余部分回抄使用。①作出该系统的方框流程图;②计算成品纸产量。

解:系统方框流程图

$$\text{②漏网损失量} = y \times 40\% = 0.4y(\text{t/d})$$

$$\text{回用部分量} = 0.4y(1 - 10\%) = 0.36y(\text{t/d})$$

$$\text{网上保留量} = y \times 60\% = 0.6y(\text{t/d})$$

$$\text{完成部损纸量} = 0.6y \times 15\% = 0.09y(\text{t/d})$$

$$\text{可回用损失量} = 0.09y(1 - 10\%) = 0.081y(\text{t/d})$$

$$\text{进入成形部纤维量} y = 80 + 0.081y + 0.36y$$

$$y = \frac{80}{0.559} = 143.1 (\text{t/d})$$

其中60%形成纸页后离开网部,即:

$$143.1 \times 60\% = 85.86 (\text{t/d})$$

其中85%成为成品纸,即:

$$85.86 \times 85\% = 72.98 (\text{t/d})$$

因为成纸水分为7%(绝干纤维基准),故:

$$\text{成品纸产量} = 72.98 \times (1 + 7\%) = 78.09 (\text{t/d})$$

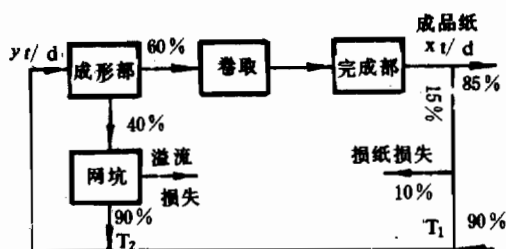


图1-15-82 系统方框流程图

y —进入成形部的纤维量(t/d) x —成品纸产量(t/d)

T_1 —回用损纸量(t/d) T_2 —从网坑白水回用的纤维量(t/d)

(六)卷筒纸产量的计算

【说明】卷筒纸的产量可按纸辊的实际净重量计算产量,也可按标准定量计算卷筒纸产量,见下式。

【公式】

$$G = \frac{BLq}{1000} \quad (1-15-617)$$

式中 G ——每卷纸的定量重量(kg)

L ——成品标准纸总长度(m),可由复卷机计数器表示

B ——成品纸宽(m)

q ——定量(g/m²)

【注意】卷烟纸的每盘定量重量也可用上式计算。

(七)平板纸产量的计算

【说明】平板纸的产量可用每令纸的定量重量表示。

【公式】

$$G = \frac{L_1 B_1 G_1 n}{1000} \quad (1-15-618)$$

式中 G ——平板纸产量,即每令纸重量(kg/令)

L_1 ——每张纸的长度(m)

B_1 ——每张纸的宽度(m)

G_1 ——平板纸报告期的产量(kg),指报告期内经过检验、包装、打件完了的数量。

不论入库与否,都算该报告期的纸产量。

$$G_1 = Gm \quad (1-15-619)$$

m —— 报告期内已经检验、包装、打件完了的令数

n —— 每令纸的张数

二、造纸机的车速计算

(一) 纸机最大工作车速的计算

【说明】 纸机最大工作车速指卷纸机上的最大工作线速度。

【公式】

$$V_{\max} = \frac{K_w L_w}{0.06q} \quad (1-15-620)$$

式中 V_{\max} —— 纸机最大工作车速(m/min)

K_w —— 纸机网案出力[kg/(h·m²)]

$$K_w = \frac{G}{B_m L_w}$$

G —— 网部生产能力(kg/h)

B_m —— 卷纸机上毛纸宽度(m)

L_w —— 网案长度(m)

q —— 定量(g/m²)

(二) 纸机最佳车速的计算

表1-15-51

成形网长度与网案长度的比例 α

纸 种	定 量 (g/m ²)	车 速 (m/min)	长 度 (m)		$\frac{L_w}{L_w}$
			成形网 L_w	网案 L_w	
新闻纸	50~52	250	27.7	12.65	2.19
		360	28	12.71	2.18
		610	30	14	2.14
1号印刷纸	65	290	28.13	12.85	2.18
铜版原纸	65	220	28.89	13	2.22
3号印刷纸	60	250	27.46	12.33	2.22
纸袋纸	40~75	730	36	16	2.25
	70	200	26.5	11.8	2.24
电容器纸、卷烟纸、复写原纸	6~20	25~100	22	10.27	2.14

【说明】 假设纸机车速等于网速时的值称为最佳车速。

【公式】

$$V_m = 60 \frac{\alpha}{t} L_w \quad (1-15-621)$$

式中 V_m —— 最佳车速(m/min)

t —— 最短成形时间(s)

L_w —— 网长(m)

α —— 成形网长与网案长度之比,不同纸种下的 α 值参考表1-15-51

【讨论】 对于 $t = 1.35$ 及 $\alpha = 0.285$ 时的极限车速(最低车速)和 $t = 1s$ 及 $\alpha = 0.3$ 时的极限车速(最高车速),在不同网长 L_w 的条件下可达的最佳车速如表1-15-52

表1-15-52

不同网长下的最佳车速

网长 L_w (m)	在下例条件下可达的最佳车速 (m/min)	
	$\alpha = 0.285, t = 1.3s$	$\alpha = 0.3, t = 1s$
20	262	360
25	327	450
40	524	720
45	590	810

(三) 纸机平均车速的计算

【说明】 纸机平均车速指平均每分钟运行的速度,可用以下两种方法计算。

1. 测算法

【说明】 指通过测定造纸机最后一个烘缸的线速度来表示的方法。

【公式】

$$V = \frac{\sum(V_i t)}{T} \quad (1-15-622)$$

式中 V —— 平均车速 (m/min)

V_i —— 最后一个烘缸的线速度 (m/min)

t —— 两次测定的间隔时间 (min)

T —— 作业时间 (min)

【例】 某纸机测定最后一个烘缸的线速四次,每次测定的相隔时间为60min,烘缸转速为114r/min。每次测定时间为3、2.98、2.99及2.97min,作业时间共240min,烘缸直径1.25m,计算该纸机的平均抄速是多少?

$$\begin{aligned} \text{解: } V &= \frac{\sum(V_i t)}{T} \\ &= \frac{\sum(\frac{\pi D n}{t'} \cdot t)}{T} = \frac{\pi D n t \sum \frac{1}{t'}}{T} \\ &= \frac{3.14 \times 1.25 \times 114 \times 60 (\frac{1}{3} + \frac{1}{2.98} + \frac{1}{2.99} + \frac{1}{2.97})}{240} \\ &= 150 (\text{m/min}) \end{aligned}$$

2. 用抄造量进行推算

【公式】

$$V = \frac{(G + G_1) \times 100}{60 \times B_m q T} \quad (1-15-623)$$

式中 V —— 平均车速 (m/min)

G —— 纸机的实际抄造量 (kg)

B_m —— 抄宽 (m)

q —— 定量 (g/m²)

G_1 —— 抄造损失量 (kg), 见式1-15-609

T —— 作业时间 (min)

三、上网浆浓与车速波动对纸的定量的影响计算

【说明】 上网浆浓、车速是长网纸机操作中很重要的工艺参数,其变化对纵向定量有很大的影响,及时准确地判断出定量变化值的大小,对指导生产具有重要意义。对此,我们可用经验公式进行计算。

【公式】

$$\Delta q = \left(\frac{\Delta C}{C} - \frac{\Delta V}{V + \Delta V} \right) q \quad (1-15-624)$$

式中 Δq ——纵向定量波动值(g/m^2)

q ——波动前定量值(g/m^2)

ΔC ——上网浓度波动值(%)

C ——波动前上网浓度(%)

ΔV ——车速波动值(m/min)

V ——波动前车速(m/min)

【例】 一台长网纸机车速为250 m/min ,上网浓度为0.6%,上网浓度波动为 $\pm 0.05\%$,定量为52 g/m^2 ,试求:①在其它工艺条件不变时的定量波动值;②在其它工艺条件不变、车速波动 $\pm 5\text{m}/\text{min}$ 时的定量。

$$\begin{aligned} \text{解: ① } \because \Delta V = 0 \quad \therefore \Delta q &= \left(\frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta V}{V + \Delta V} \right) q \\ &= \frac{\Delta C}{C} q \\ &= \frac{\pm 0.05\%}{0.6\%} \times 52 \\ &= \pm 4.3(\text{g}/\text{m}^2) \end{aligned}$$

② $\because \Delta C = 0$

\therefore 当车速波动 $+5\text{m}/\text{min}$,即车速由250 m/min 波动到255 m/min 时,则:

$$\begin{aligned} \Delta q &= \left(\frac{\Delta C}{C} - \frac{\Delta V}{V + \Delta V} \right) q \\ &= - \frac{\Delta V}{V + \Delta V} q = - \frac{5}{250 + 5} \times 52 = -1.02(\text{g}/\text{m}^2) \end{aligned}$$

即定量下降1.02 g/m^2 ,此时的定量为:

$$52 - 1.02 = 50.988(\text{g}/\text{m}^2) \approx 51(\text{g}/\text{m}^2)$$

当车速波动 $-5\text{m}/\text{min}$,即车速由250 m/min 波动到245 m/min 时,则:

$$\begin{aligned} \Delta q &= \left(\frac{\Delta C}{C} - \frac{\Delta V}{V + \Delta V} \right) q \\ &= - \frac{\Delta V}{V + \Delta V} q = \frac{-5}{250 + (-5)} \times 52 \\ &= 1.06(\text{g}/\text{m}^2) \end{aligned}$$

即定量上升1.06 g/m^2 ,此时的定量为:

$$52 + 1.06 = 53.06(\text{g}/\text{m}^2) \approx 53(\text{g}/\text{m}^2)$$

四、纸机车速与纸的定量的变化关系计算

【说明】 纸机车速的变化与定量的变化之间存在如下关系。

【公式】

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{\Delta V}{qV} \quad (1-15-625)$$

式中 V —— 纸机车速(m/min)

q —— 纸的定量(g/m²)

ΔV —— 纸机车速波动值(m/min)

Δq —— 纸的定量波动值(g/m²)

【讨论】 为了保证所生产纸的定量能够在容许范围之内(纸张 $\Delta q = \pm 3 \sim 5\%$, 纸板 $\Delta q = \pm 6 \sim 10\%$), 要求造纸机车速稳定, 只能在容许的范围内波动。也即是在生产纸张时, 速度波动允许范围为 $\pm 3 \sim 5\%$, 纸板为 $\pm 6 \sim 10\%$ 。但是, 其它工艺因素(纸料浓度、纸料性质)也影响抄纸定量, 所以, 造纸机速度波动范围应改为生产纸张时为 $\pm 0.5 \sim 1.0\%$, 纸板为 $\pm 1.5 \sim 2\%$ 。

五、纸机白水中总的绝干固形物含量的计算及实例

(一) 排入废水中绝干固形物的量的计算

【公式】

$$G_1 = G - G_2 \quad (1-15-626)$$

式中 G_1 —— 排入废水中的绝干固形物量(t/d)

G —— 进入湿部的绝干物料量(t/d)

G_2 —— 造纸机的日产量[t(绝干)/d]

(二) 排出废水量的计算

【公式】

$$W_1 = W - W_2 - W_3 \quad (1-15-627)$$

式中 W_1 —— 排出废水量(t/d)

W —— 纸机每天耗水量(m³或 t)(其中包括纸浆和辅料中的水量)

W_2 —— 纸中含水量(t/d)

W_3 —— 蒸发水量(t/d)

(三) 纸中含水量的计算

【公式】

$$W_2 = W_4 - G_2 \quad (1-15-628)$$

式中 W_2 —— 纸中含水量(t/d)

W_4 —— 成品纸产量(t/d)(水分7%)

G_2 —— 造纸机日产量[t(绝干)/d]

(四) 蒸发水量的计算

【公式】

$$W_3 = W_5 - W_4 \quad (1-15-629)$$

式中 W_3 —— 蒸发水量(t/d)

W_5 —— 进入干燥部湿纸总重(t/d)

W_4 —— 成品纸产量(t/d)(水分7%)

(五) 废水中绝干固形物含量计算

【公式】

$$C = \frac{G_1}{W_1} \times 100\% \quad (1-15-630)$$

式中 C —— 固形物含量(%)

G_1 —— 排入水中绝干固形物含量(t/d)

W_1 —— 排出废水量(t/d)

(六)白水中绝干固形物含量的计算实例

【例】某造纸车间的纸料制备工段,每天使用的原材料如下:纸浆248t(水分8%),高岭土31t(水分7%),淀粉2.4t(水分15%),松香胶1.1t(水分50%),矾土2.1t(绝干),水4000m³(其中包括纸浆和辅料中的水量)。该造纸机生产的纸张定量为62g/m²,成纸水分7%,车速1200m/min,抄宽2.5m,湿纸页进入干燥部的水分含量为58%,损失的水全部排出。假设废水中所有物料有相同的保留率,且每立方米废水重1t,试计算废水中总的绝干固形物的百分含量。

解:①进入湿部的绝干物料量 G 的计算

$$\text{纸浆} = 248 \times 92\% = 228.16(\text{t/d})$$

$$\text{高岭土} = 31 \times 93\% = 28.83(\text{t/d})$$

$$\text{矾土} = 2.1(\text{t/d})$$

$$\text{淀粉} = 2.4 \times 85\% = 2.04(\text{t/d})$$

$$\text{松香胶} = 1.1 \times 50\% = 0.55(\text{t/d})$$

$$\begin{aligned} \therefore G &= 228.16 + 28.83 + 2.1 + 2.04 + 0.55 \\ &= 261.68(\text{t/d}) \end{aligned}$$

②造纸机日产量 G_2 的计算

$$\begin{aligned} G_2 &= \frac{0.06qB_m VTK_1}{1000} \\ &= \frac{0.06 \times 62 \times 2.5 \times 1200 \times 93\% \times 24}{1000} \\ &= 249.09[\text{t(绝干)}/\text{d}] \end{aligned}$$

排入废水中的绝干固形物的量:

$$\begin{aligned} G_1 &= G - G_2 = 261.68 - 249.09 \\ &= 12.59[\text{t(绝干)}/\text{d}] \end{aligned}$$

③成品纸产量的计算

$$\begin{aligned} W_1 &= G_2 \times \frac{100}{100 - 7} = 249.09 \times \frac{100}{100 - 7} \\ &= 267.84(\text{t/d})(\text{水分}7\%) \end{aligned}$$

纸中含水量 W_2 的计算

$$\begin{aligned} W_2 &= W_1 - G_2 \\ &= 267.84 - 249.09 = 18.75(\text{t/d}) \end{aligned}$$

进入干燥部湿纸总量 W_3 的计算

$$\begin{aligned} W_3 &= \frac{G_2}{1 - 58\%} = \frac{249.09}{1 - 58\%} \\ &= 593.07(\text{t/d}) \end{aligned}$$

蒸发水量 W_4 为:

$$W_3 = W_5 - W_4 = 593.07 - 267.84 \\ = 325.23(\text{t/d})$$

排出废水量为:

$$W_1 = W - W_2 - W_3 \\ = 4000 - 18.75 - 325.23 \\ = 3656.02(\text{t/d})$$

④废水中绝干固体物含量:

$$C = \frac{G_1}{W_1} \times 100\% = \frac{12.59}{3656.02} \times 100\% \\ = 0.34\%$$

六、成品纸中填料含量及纸的定量的计算及实例

【例】某长网造纸机的湿部由流浆箱、网部和网坑组成。浓纸料以体积流速1500 L/min送入,浓纸料中纤维和高岭土的浓度分别为20g/L和5g/L。浓纸料用白水稀释后以体积流速10000L/min通过流浆箱,稀释后纸料中纤维和高岭土的浓度分别为5g/L和1g/L。网坑白水溢流量为450L/min。该造纸机车速为120m/min,抄宽为1.5m,成品纸水分为10%(绝干基准)。求:

- ①作出该系统的流程图;
- ②计算成品纸中高岭土百分含量(绝干基准);
- ③求纸的定量。

解:①该系统的流程如图1-15-83。

②从网坑至混合部位处的体积流量为:

$$10000 - 1500 = 8500(\text{L/min})$$

从网部至网坑的体积流量为:

$$8500 + 450 = 8950(\text{L/min})$$

从网部至卷取部的体积流量为:

$$10000 - 8950 = 1050(\text{L/min})$$

在混合部位处取纤维平衡:

$$(G_{F_1} \times 8500) + (20 \times 1500) = 10000 \times 5 \\ \text{得: } G_{F_1} = \frac{50000 - 30000}{8500} \\ = 2.35(\text{g/L})$$

在混合部位处,取填料平衡:

$$(G_{L_1} \times 8500) + 5 \times 1500 = 10000 \times 1 \\ \text{得: } G_{L_1} = \frac{10000 - 7500}{8500} \\ = 0.294(\text{g/L})$$

从网部至卷取部的纤维量为:

$$10000 \times 5 - 8950 \times 0.294 = 7369(\text{g/min})$$

从网部至卷取部纤维和填料总量为:

$$28968 + 7369 = 36337(\text{g/min})$$

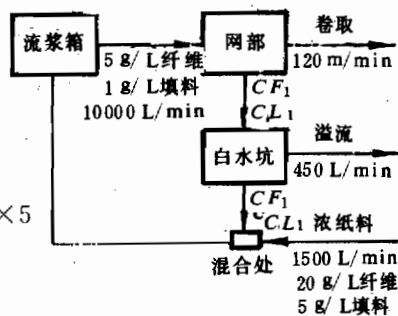


图1-15-83 系统流程图

$$\begin{aligned}\text{成纸中高岭土含量} &= \frac{7369}{36337} \times 100\% \\ &= 20.3\%\end{aligned}$$

$$\textcircled{3} \text{ 每分钟生产纸的面积} = 120 \times 1.5 = 180 (\text{m}^2/\text{min})$$

$$\text{成纸定量} = \frac{36337}{180} \approx 202 (\text{g}/\text{m}^2) (\text{绝干})$$

水分含量为10%的成品纸定量为:

$$202 \times 110\% = 222 (\text{g}/\text{m}^2)$$

七、纸机的传动计算

(一) 纸机局部与总体速度不同步的原因及调整计算实例

【例】 某厂一纸机生产牛皮卡纸,发现纸页的速度与压光机的速度不同步,压光机的可控硅无级调速只能补偿10个传动比,调到极限仍断纸,生产被中断。试分析其原因并对其进行同步调整计算。

解:①原因分析计算

首先测量纸页和压光辊速度。测得数据,烘缸转速 $n_1 = 10 \text{r}/\text{min}$,烘缸直径 $D_1 = 1250 \text{mm}$,压光辊转速 $n_2 = 49.5 \text{r}/\text{min}$,压光辊直径 $D_2 = 400 \text{mm}$ 。

$$\begin{aligned}\text{纸页速度 } V_1 &= \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 1000} = \frac{3.14 \times 1250 \times 10}{60 \times 1000} \\ &= 0.654 (\text{m}/\text{s})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{压光辊速度 } V_2 &= \frac{\pi D_2 n_2}{60 \times 1000} = \frac{3.14 \times 400 \times 49.5}{60 \times 1000} \\ &= 1.036 (\text{m}/\text{s})\end{aligned}$$

故 $V_2 > V_1$, 纸页必然被拉断。

②同步调整计算

a. 求不断纸传动比并验证可控硅调速电机无法补偿速度差
不断纸的条件:降低压光辊的速度,使其与纸页的速度相等。

令 $V_2' = V_1$ (V_2' 为不断头时压光辊的速度)即:

$$0.654 = \frac{3.14 \times 400 n_2'}{60 \times 1000} \quad (n_2' \text{ 为不断头时压光机的转速})$$

$$n_2' = \frac{0.654 \times 60 \times 1000}{3.14 \times 400} = 31.24 (\text{r}/\text{min})$$

减速机不断头时的传动比 i_1' 为:

$$i_1' = \frac{n_{\text{电}}}{n_2'} = \frac{1200}{31.24} = 38.41 \quad (\text{式中 } n \text{ 为电机转速,其值为 } 1200 \text{r}/\text{min})$$

原减速机速比 $i = 23.34$

$$\begin{aligned}\text{速比差 } \Delta &= i_1' - i = 38.41 - 23.34 \\ &= 15.07 > 10\end{aligned}$$

所以,调速电机无法补偿。

b. 同步调整计算

调整的方法是改动原减速机中一对齿轮。

原减速机速比为:

$$i_1 = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{81}{18} \cdot \frac{83}{16} = 23.34 \quad (\text{式中 } Z_1, Z_2, Z_3, \text{ 及 } Z_4 \text{ 分别为各齿轮的齿数})$$

为便于加工,更换模数小的那一组,即将81/18改为88/11,改后的传动比 i_2 为:

$$i_2 = \frac{88}{11} \cdot \frac{83}{16} = 41.5$$

改后传动比 i_2 与不断头速比 i_2 之差为:

$$\begin{aligned}\Delta i' &= i_2 - i_1' = 41.5 - 38.41 \\ &= 3.09 < 10\end{aligned}$$

即在可控硅调速电机范围内,可使压光辊速度调到与纸页的速度相等。

(二) 皮带轮直径变化后接(或截)皮带的长度计算

【公式】

$$L = 1.6(D_2 - D_1) \quad (1-15-631)$$

式中 L —— 皮带接(或截)的长度(mm)

D_1 —— 换轮前带轮直径(mm)

D_2 —— 换轮后带轮直径(mm)

【注意】 正值表示接,负值表示截。

【例】 某皮带轮换前直径 $D_1 = 400\text{mm}$,换后直径 D_2 为800mm,求皮带需要接多长?

$$\begin{aligned}\text{解: } L &= 1.6(D_2 - D_1) \\ &= 1.6(800 - 400) \\ &= 640(\text{mm})\end{aligned}$$

(三) 纸机车速与皮带轮直径的关系计算

【公式】

$$U_2 = U_1 \frac{D_2}{D_1} \quad (1-15-632)$$

式中 U_1, U_2 —— 换带轮前后车速(m/min)

D_1, D_2 —— 换带轮前后直径(mm)

【例】 已知:某纸机传动部主动轮由 $\Phi 400\text{mm}$,换成 $\Phi 800\text{mm}$,原车速为120m/min,求换轮后车速的大小

$$\begin{aligned}\text{解: } U_2 &= U_1 \frac{D_2}{D_1} \\ &= 120 \times \frac{800}{400} \\ &= 2400(\text{m/min})\end{aligned}$$

(四) 开口皮带长度的估算

【公式】

$$L = 2A + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4A} \quad (1-15-633)$$

式中 L —— 皮带长度(mm)

A —— 皮带轮中心距(mm)

D_1 —— 皮带轮直径(mm)

D_2 —— 皮带轮直径(mm)

【例】 已知: $A = 3000\text{mm}$, $D_1 = 400\text{mm}$, $D_2 = 1000\text{mm}$,求皮带长度。

$$\text{解: } L = 2A + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4A} = 2 \times 3000 + \frac{3.14}{2}(400 + 1000) +$$

$$\begin{aligned} & \frac{(400-1000)^2}{4 \times 3000} \\ &= 6000 + 2198 + 30 \\ &= 8228(\text{mm}) \end{aligned}$$

(五) 强尼龙带总轴传动的设计计算

【说明】 强力尼龙带传动与普通平皮带或三角橡胶带比较, 具有负载能力大、受力伸长量少, 运行平稳和传动效率高等优点, 它被广泛用于中小型造纸机的总轴传动。但是, 过去大多参照普通平皮带的计算公式设计, 往往忽视了尼龙带具有较大预拉力的特点, 产生较大轴向推力, 导致总轴窜动或轴承发热、早期破坏等后果。为此, 应对其进行合理计算和布局, 其受力分析如图1-15-84。

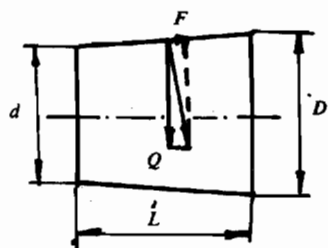


图1-15-84 强力尼龙带传动受力分析

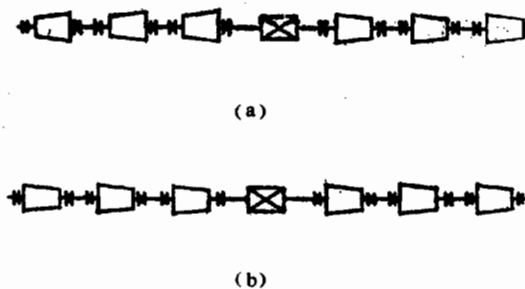


图1-15-85 总轴传动锥形皮带轮的布置

(a) 传统布置 (b) 改进型布置

1. 强力尼龙带给轴的压力计算

【说明】 当尼龙带速度 V 小于或等于 25m/s 时, 给轴的压力可用下式计算。

【公式】

$$Q = \frac{1000PZK}{V} \quad (1-15-634)$$

式中 Q —— 尼龙带给轴的压力(N)

P —— 传递功率(kW)

Z —— 包角系数, 根据小轮包角查表1-15-53, 表中:

$$\theta = 180 - \frac{57^\circ(D-d)}{A}$$

θ —— 包角(度)

D, d —— 分别表示大、小轮直径(mm)

A —— 两轮的中心距(mm)

K —— 负荷系数、纸机各部常用 K 值见表1-15-54

V —— 皮带速度(m/s)

$$V = \frac{\pi Dn}{60 \times 1000}$$

n —— 皮带大轮转速(r/min)

【讨论】 国外有的产品目录列出了各种规格尼龙带伸长1.8%时的单位轴压力 q , 则宽度为 b 的尼龙带给轴的压力也可用下式计算:

$$Q = qb \quad (1-15-635)$$

式中 Q —— 尼龙带给轴的壓力(N)

q —— 尼龙带伸长1.8%时的单位轴压力(N/mm)

b —— 尼龙带宽度(mm)

表1-15-53 与包角 θ 有关的系数 Z

包角 θ (度)	180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°
系数 Z	2.5	2.6	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.7	4.0

表1-15-54 负荷系数 K

纸 机 型 式	部 位	系 数 K
圆网纸机	网部、压榨部、烘干部	1.4
长网纸机	网部	1.4
	压榨部	1.4
	烘干部	2.7
	压光机	2.0
	卷取机	1.4

2. 锥形皮带轮造成的轴向推力的消除及计算

【说明】 轴向推力是造成总轴窜动、轴承发热、寿命缩短的主要原因,消除的方法是采取合理的布局,如图1-15-85(b)。但与总轴上锥形带轮相匹配的各传动点的调速带轮,因轴向推力无法平衡,只能借助于轴承,因此,选用滚动轴承时应充分考虑所能承受的轴向力。验算当量动载荷。建议将向心球面球轴承改为向心球面滚子轴承,以提高轴承的寿命。

【公式】

$$F = nQ \frac{D-d}{2L} = n \frac{1000PZK(D-d)}{2VL} \quad (1-15-636)$$

式中 F —— 由于强力尼龙带预压力在总轴上产生的总轴向推力(N)

n —— 传动组数,一般 $n = 10 \sim 12$

L —— 锥形皮带轮长度(mm),见图1-15-84

其它同上

3. 强力尼龙带型号的选择

【说明】 用于锥形带轮的强力尼龙带的宽度不宜太宽,过宽的尼龙带反而加速磨损。一般推荐如下。

【公式】

$$b \leq 0.01d/T \quad (1-15-637)$$

$$T = \frac{D-d}{L} \quad (1-15-638)$$

式中 b —— 带宽(mm)

T —— 带轮锥度

其它同上

【附表】 部分国产尼龙带的型号系列见表1-15-55

表1-15-55

国产强力尼龙带的部分型号系列

型 号	厚度(mm)	摩擦层	片 基	传动线速(m/s)	传动功率(kw)
BNB-300	3.0	皮革×2	薄片	5~25	<7.0
BNB-500	5.0	同上	中片	5~25	2.5~25
BNB-600	6.0	同上	厚片	5~25	>10
XNX-150	1.5	橡胶×2	薄片	5~30	<7.0
XNX-220	2.2	同上	中片	5~30	2.5~30
XNX-300	3.0	同上	中片	5~25	2.5~30
XNX-500	5.0	同上	厚片	5~20	>10

注:薄片0.4~0.5mm,中片0.8~0.9mm,厚片1.2~1.3mm.

八、造纸机传动功率的计算

【说明】 造纸机传动功率的计算,由于影响因素较多,故在计算时要考虑各种条件。为保证造纸机的连续运转,传动的机械及电气部分都应按足够的安全系数及容量安全系数来确定。确定造纸机所需功率的方法有三种:单位指标法、分步计算法和经验计算法。

(一)单位指标法

【说明】 单位指标法又可分为统计法和功率系数法。

1. 统计法

【说明】 统计法是对一系列造纸机测定其实际需要功率,然后就每米造纸机幅宽和每米/分车速为单位来表示所需功率的。

【公式】

$$N = KBV \quad (1-15-639)$$

式中 N —— 造纸机所需功率(kW)

B —— 造纸机幅宽(m)

V —— 造纸机的车速(m/min)

K —— 耗用功率的单位指标[kW/(m·m/min)]

【讨论】 整部纸机及纸机的每个分部的 K 值都是按实际测定数据来确定的,表1-15-56给出了造纸机各分部所耗用功率的单位指标,可供计算时参考。

【注意】 用统计法计算的功率,并没有反映出纸机的具体特征和生产工艺条件等因素对耗用功率的影响。故一般可作为在纸机结构设计尚未完成以前估算纸机的功率及选用传动的电气设备的原始资料。

2. 功率系数法

【说明】 我国目前设计造纸机常用美国制浆造纸技术协会(TAPPI)提供的功率系数来计算的单位指标法。实践证明,其计算结果基本上符合国内纸机运行的实际情况。

功率系数是以每30m/min(100ft/min)车速、每25.4mm(1in)机宽所需用的功率(kw或英马力)来表示的。单位为 w/(25.4mm·30m/min)或英马力/(in·100ft/min)。对长网造纸机来说,取网宽为机宽。每个分部规定了两个功率系数,一个是正常运转负荷系数(NRL),另一个是推荐传动容量系数(RDC)。

正常运转负荷系数是各分部在正常条件下运行时可望达到的运转负荷。造纸机的正常运转的总负荷系数等于各分部的正常运转负荷系数之和。正常运转负荷系数适用于选择：①传动总轴的汽轮机和电动机，加15%的总轴传动损失；②单动力源分部传动的动力源，适当考虑分部电机的损失；③分部传动的发电机组的原动机或供电变压器，适当考虑直流电动机和功率转换装置的损失；④分部中有多个传动点时选择分部动力源时，应考虑多传动点之间的负荷差异，此时，用多传动点的正常运转负荷系数之总和的120%来选择分部动力源的最小额定值。

推荐传动容量系数是指在可以预料的最大负荷下运行时，特定分部所耗用功率的估计值。但并不包括对某些分部特有的高启动力矩特性，以及特殊的纸机特点所导致不常见的运行条件。推荐传动容量系数适用于选择：①分部电动机；②单传动点分部的分部动力源。

【注意】 所有的功率系数都是按纸的定量来计算的，即每张纸面积为 $0.6096\text{m} \times 0.9144\text{m}$ ($2\text{ft} \times 3\text{ft}$)，每500张纸为1令，每令重量为 $\text{kg}/278.71\text{m}^2$ (或 $\text{lb}/3000\text{ft}^2$)，其它定量单位应先换算成上述单位后才能应用功率系数。

【附表】 表1-15-57列出了除薄页纸机和浆板机以外的、最小机宽为 2.25m (90in)的长网纸机的部分功率系数，供计算时参考。

(二)分步计算法

【说明】 分步计算法是对纸机各分部的实际耗用功率，分别根据其受力的具体情况与要求加以分析计算的方法。它能反映纸机的具体结构特点和工作特点。在完成纸机各部结构设计的基础上，利用此法可较精确地计算出各部所需的功率。在进行计算时，必须知道轴承上的负荷、辊筒和轴颈的直径、轴承及密封中的摩擦系数和铜网对吸水箱的摩擦以及各辊筒之间的滚动摩擦等。

1. 克服轴承内的摩擦所需的功率

①克服一个辊的轴承中摩擦力所需的功率

【公式】

$$P_1 = \frac{Q_1 f_1 V_1}{60 \times 1000} = \frac{T_1 V}{60 \times 1000} \quad (1-15-640)$$

式中 P_1 —— 克服一辊轴承摩擦所需功率(kw)

Q_1 —— 轴承上的总负荷(包括辊自重、铜网或毛毯拉力的合力、上辊给轴承的负荷等)(N)

V_1 —— 轴颈的圆周速度(m/min)

f_1 —— 轴承中的摩擦系数，滚动轴承一般为 $0.01 \sim 0.02$ ，滚珠轴承取低值，滚柱轴承取高值；采用带油环润滑的滑动轴承时，可取 $0.03 \sim 0.04$

T_1 —— 加在辊筒外径 D 上的牵引力(N)

$$T_1 = Q_1 f_1 \frac{d}{D} \quad (1-15-641)$$

d —— 轴颈的直径(m)

D —— 辊筒的外径(m)

V —— 辊的圆周速度(m/min)

$$V = \frac{V_1 D}{d} \quad (1-15-642)$$

②每个分部各个轴承的摩擦所需功率

表1-15-56

造纸机耗用功率的平均单位指标 K

纸机部位	单位指标 K [kw/(m·m/min)]	备 注
长网部	0.0715	当生产书写、印刷和新闻纸及用真空伏辊时
普通压榨辊	0.021	
真空压榨辊	0.029	
光滑压榨辊	0.007	
烘干部	0.0019	按每米烘缸和烘毯缸直径来计算 辊数为8
压光机	0.042	
圆筒式卷纸机	0.012	
		生产新闻纸和印刷纸时

表1-15-57

造纸机的功率系数。

纸机部位及条件		正常运转负荷系数(NRL)		推荐传动容量系数(RDC)		备 注
		英马力	W	英马力	W	
		in·100ft/min	25.4mm·30m/min	in·100ft/min	25.4mm·30m/min	
网部	① 24g/m ² (16lb) 以下的低定量纸	0.06	44.742	0.069	51.453	吸水箱宽为2m, 湿箱真空度为75mmHg柱, 干箱真空度为125mmHg柱
	② 书籍纸和证券纸, 车速小于460m/min	0.09	67.113	0.104	77.553	吸水箱宽2m, 湿箱真空度75mmHg柱, 干箱真空度150mmHg柱
	③ 新闻印刷纸, 车速小于1130m/s, 定量大于49g/m ²	0.12	89.484	0.138	102.907	吸水箱宽3m, 湿箱真空度75mmHg柱, 干箱真空度150mmHg柱
压部	① 普通压榨、真空压榨、沟纹压榨、网毯压榨等	0.030 0.035	22.371 26.100	0.040 0.052	29.828 38.776	线压小于62kgf/cm 线压为63~85kgf/cm
	② 真空吸水辊	0.02	14.914	0.03	22.371	线压最高为31kgf/cm
	③ 平压榨	0.007	5.220	0.0138	10.291	线压最高为62kgf/cm
干燥部	① 烘缸直径 Φ1800mm(72in)	0.0012	0.894	0.0035	2.610	缸数少于6个的烘缸组必须另加动力, 车速低于60m/min, 机宽小于3.8m的纸机也应另加动力
	② 烘缸直径 Φ1500mm(60in)	0.0012	0.894	0.0027	2.013	
	压光机(8辊)纸的定量在146g/m ² 以下	0.030	22.371	0.0575	42.878	张力差0.36kgf/cm
	圆筒卷纸机(除牛皮纸外)	0.008 0.008	5.966 5.966	0.0138 0.0230	10.291 17.151	定量200g/m ² 以下 定量200g/m ² 以上

【公式】

$$P_1' = \frac{\Sigma T_1 \cdot V}{60 \times 1000} \quad (1-15-643)$$

式中 ΣT_1 ——该分部所有辊牵引力的总和(N)

其它同上

2. 克服两辊之间的滚动摩擦所需的功率

【公式】

$$P_2 = \frac{T_2 V}{60 \times 1000} \quad (1-15-644)$$

式中 P_2 ——克服滚动摩擦所需功率(kW)

T_2 ——克服两辊之间滚动摩擦所加于上、下两辊的总牵引力(N)

$$\begin{aligned} T_2 &= T_x + T_s \\ &= 2KQ_2 \left(\frac{1}{D_x} + \frac{1}{D_s} \right) \end{aligned} \quad (1-15-645)$$

T_x ——附加于下辊的牵引力(N)

T_s ——附加于上辊的牵引力(N)

Q_2 ——两辊之间的压力(N)

D_x ——下辊直径(cm)

D_s ——上辊直径(cm)

K ——滚动摩擦系数(cm), 对具有包胶下辊的压榨辊来说, $K = 0.07 \sim 0.16$ cm, 胶层越软, 毛布越厚, 则 K 值越大; 对压光机来说, 如辊间有纸幅通过时, $K = 0.015 \sim 0.018$ cm

3. 克服刮刀对辊筒或对烘缸的摩擦力所需的功率

【公式】

$$P_3 = \frac{T_3 V}{60 \times 1000} \quad (\text{kW}) \quad (1-15-646)$$

式中 T_3 ——克服刮刀对辊筒或对烘缸的摩擦所需的牵引力(N)

$$T_3 = f_3 q_3 b \quad (1-15-647)$$

f_3 ——刮刀对辊的摩擦系数, 对网部和压榨部的刮刀其值如下: 当 $q_3 = 1.96 \sim 2.94$ N/cm (0.2~0.3 kgf/cm) 时, $f_3 = 0.2 \sim 0.25$; 当 $q_3 = 1.96 \sim 3.92$ N/cm (0.2~0.4 kgf/cm) 时, $f_3 = 0.2 \sim 0.3$; 对于压光机的刮刀, 当 $q_3 = 0.98 \sim 2.94$ N/cm (即 0.1~0.3 kgf/cm) 时, $f_3 = 0.15 \sim 0.2$

q ——刮刀对辊的线压力(N/cm)

B ——刮刀与辊接触的长度(cm)

4. 用于克服铜网对吸水箱表面摩擦力所需的功率

【公式】

$$P_4 = \frac{T_4 V}{60 \times 1000} \quad (1-15-648)$$

式中 P_4 ——所需功率(kW)

T_4 ——用于克服铜网对吸水箱表面摩擦的牵引力(N)

$$T_4 = f_4 F P \quad (1-15-649)$$

F_4 ——铜网及吸水箱之间的摩擦系数, 取决于箱面的材料种类, 对未浸蜡的木面

板, $f_4 = 0.3 \sim 0.4$; 对夹布胶面板或浸蜡木面板, $f_4 = 0.15 \sim 0.18$

F —— 吸水箱的有效面积(抽气面积)(m^2)

P —— 真空度的平均值(Pa), 其值与纸种有关, 薄页纸 $P = 0.02 \sim 0.03 Pa$; 新闻纸

$P = 0.07 \sim 0.12 Pa$

5. 用于克服密封物与真空辊外壳之间的摩擦或烘缸蒸汽头密封填料的摩擦所需的功

【公式】

$$P_5 = \frac{T_5 V}{60 \times 100} \quad (1-15-650)$$

式中 P_5 —— 所需功率(kW)

T_5 —— 克服密封物与真空辊外壳之间的摩擦或烘缸蒸汽头密封填料的摩擦所需的牵引力(N)

$$T_5 = P_m F_5 f_5 \frac{d_0}{D_5} \quad (1-15-651)$$

P_m —— 密封物的单位压力(Pa)

F_5 —— 密封物与辊筒的回转面的接触面积(m^2)

f_5 —— 密封物与真空辊内表面之间的摩擦系数(或密封物与垫片回转面之间的摩擦系数)

d_0 —— 产生摩擦的回转面的直径(m)

D_5 —— 辊筒或烘缸的外径(m)

6. 压光机所需功率的计算

【说明】 当计算压光机的功率时,除了按上述方法算出各种牵引力外,还要加上为了克服压光机某一辊筒和它的下辊之间的滑动摩擦所需的牵引力,再按上述方法求出该项功率。

① 辊筒克服滑动摩擦的牵引力

【公式】

$$T_6 = \frac{\alpha_6 f_6 Q_6}{100} \quad (1-15-652)$$

式中 T_6 —— 牵引力(N)

α_6 —— 压光机辊筒之间的滑动(%),一般为0.05~0.1%

f_6 —— 辊面沿着纸幅的滑动系数,一般取0.3

Q_6 —— 该辊筒和它的下辊之间的压力(N)

② 所有辊筒克服滑动摩擦的牵引力

【说明】 因辊与辊缝间都有滑动摩擦,因此要将所有辊筒(除传动的底辊外)克服滑动摩擦的牵引力 T_6 先行确定,然后相加,或者按下式用各辊之间的压力总和来求牵引力总和。

【公式】

$$T_6' = \frac{\alpha_6 f_6}{100} \Sigma Q_6 \quad (1-15-653)$$

式中 T_6' —— 牵引力总和(N)

ΣQ_6 —— 所有辊筒间压力的总和(N)

$$\Sigma Q_6 = 1G_2 + 2G_3 + \dots (n-1)(G_n + P_n) \quad (1-15-654)$$

G_2 —— 第二辊和它的轴承重力(N)

G_3 —— 第三辊及其轴承的重力(N)

G_n —— 第 n 辊及其轴承的重力(N)

P_n —— 附加压力(N)

n —— 压光机的辊数

③ 其它各种牵引力的计算

【说明】 其它牵引力主要包括克服轴承内的摩擦所需的牵引力(见式1-15-641)、克服两辊之间的滚动摩擦所需的牵引力(见式1-15-645)、克服刮刀对辊筒的摩擦所需的牵引力(见式1-15-647)等。将其相加后,即得出 $T_{\text{其}}$ 这里不再复述。

④ 压光机所需功率的计算

【公式】

$$P_6 = \frac{(T_6' + T_{\text{其它}})V}{60 \times 1000} \quad (1-15-655)$$

式中 P_6 —— 压光机所需功率(kW)

其它同上

7. 造纸机各分部所耗用的总功率计算

【说明】 造纸机各分部耗用的总功率,实际上是求各分部牵引力的总和,据此,即可求出该分部所耗用的总功率。

【公式】

$$P_{\text{部}} = \frac{\Sigma T \cdot V}{60 \times 1000} \quad (1-15-656)$$

式中 $P_{\text{部}}$ —— 造纸机分部所耗总功率(kW)

ΣT —— 分部内各牵引力的总和(N)

其它同上

8. 造纸机传动所需的总功率

【说明】 将求出的各分部所耗用的总功率相加,即为造纸机传动所需的总功率。

【公式】

$$P_{\text{总}} = \Sigma P_{\text{部}} \quad (1-15-657)$$

式中 $P_{\text{总}}$ —— 总功率(kW)

$\Sigma P_{\text{部}}$ —— 各分部功率之和(kW)

9. 几点注意的问题

【说明】 ①当计算干燥部所耗用的功率时,应考虑干燥部的总效率,这个效率与传动系数和齿轮传动效率有关。齿轮的传动效率可由计算决定或选用经验数据,一般可取0.80~0.85。

②牵引力的大小与纸机的速度有关。纸机的车速在100~150m/min时,牵引力最小;纸机车速为300~500m/min,并使用滑动轴承时,牵引力需增加15~30%。当车速提高时,牵引力的增加系数 K_v 可用下式计算:

$$K_v = 1 + 0.0004(V - 150) \quad (1-15-658)$$

通常可以认为车速在150m/min以上,每增加50m/min,牵引力则增加2%。另外,牵引力

是以纸机正常的生产工艺条件来计算的,但在操作过程中由于生产工艺条件的改变,也会引起牵引力的变化。因此,要采用极限系数 k_m 来加大牵引力。网部、压榨部、压光机和卷纸机等的 K 为 1.25~1.30;而干燥部的 k 为 1.25~1.50。将极限系数 k 和速度系数 K_v 一并考虑在内,则牵引力的最大值为:

$$\Sigma T_{\max} = \Sigma T \cdot K_v \cdot K_m \quad (1-15-659)$$

式中符号含义及单位同前

③在选择纸机各分部的电动机时,其功率除应用最大牵引力进行计算外,还要考虑纸机起动时的起动力矩 M_n :

$$M_n = M_g + M_f = K_n M \quad (1-15-660)$$

式中 M_n —— 起动力矩(N·m)

M_g —— 克服惯性力的起动力矩(N·m)

M_f —— 克服起动时的摩擦力的力矩(N·m)

K_n —— 系数、纸机各部的 K_n 值见表1-15-58

$$K_n = \frac{M_n}{M} = \frac{T_n}{T} \quad (1-15-661)$$

M, T —— 名义工作力矩(不考虑 K_m 和 K_v)(N·m)及名义工作牵引力(N)

T_n —— 起动牵引力(N)

表1-15-58

纸机各部的起动系数 K_n

纸机部位	K_n 值	备 注
网 部	0.5~0.7	因是在没有纸幅的情况下开动网部,吸水箱的真空度为零,故起动牵引力小
压榨部	2.5	起动时如减少线压力可使牵引力减少
干燥部	1.5~2	当烘缸用滚动轴承时
	3.5~4	当烘缸用滑动轴承时
压光机	3~4	滑动轴承。在起动时当上面各辊升起, K_n 减少
卷纸机	0.5~1.5	起动时没有纸幅

(三)经验计算法

【说明】 从以上两种方法的计算中可看出,纸机本身的动力消耗计算应全面的考虑纸机各部情况来进行,这种计算较为繁琐,在一般情况下,可用下面的经验公式进行计算。

【公式】

$$N = K(B_m + 0.55)(1 + \frac{q}{630})V \quad (1-15-662)$$

式中 N —— 纸机变速传动部分的动力消耗(不包括定速部分各设备的动力消耗,如振动装置,真空泵等)(马力)(1马力=735.5W)

K —— 动力消耗的校正因数,取决于纸机的抄速。低速纸机 $K = 0.35 \sim 0.4$; 中速纸机 $K = 0.25 \sim 0.35$; 高速纸机 $K = 0.2 \sim 0.25$

B_m —— 卷纸机上纸的抄宽(m)

q —— 纸的定量(g/m²)

V —— 纸机车速(m/min)

【例】 某纸机生产60g/m²书写纸,抄宽2.8m,抄速200m/min,计算纸机本身在一小时内每吨纸所需要的动力消耗。

解:纸机每小时的生产能力为:

$$\begin{aligned} G &= 0.06qB_mV = 0.06 \times 60 \times 2.8 \times 200 \\ &= 2016(\text{kg/h}) \\ &= 2.016(\text{t/h}) \end{aligned}$$

纸机为中速纸机,故选用 $K=0.3$,则变速部分的动力消耗为:

$$\begin{aligned} N &= K(B_m + 0.55)(1 + \frac{q}{630})V \\ &= 0.3(2.8 + 0.55)(1 + \frac{60}{630}) \times 200 \\ &= 221.1(\text{马力}) \\ &= 162.62(\text{kW}) \end{aligned}$$

造纸机生产每吨纸本身消耗的动力:

$$\frac{162.62}{2.016} = 80.66(\text{kW/t 纸})$$

第七节 长网造纸机的技改计算

一、网前供浆系统及流浆箱的技改计算

(一)压力筛 V 型皮带的调整计算

【说明】新皮带换上后,在传动跨距的中点施加压力,测得的数据要附合下列公式。
参见图1-15-86。

【公式】

$$h = \frac{L}{100} \times 1.6W \quad (1-15-663)$$

式中 h —— 皮带松动幅度(mm)

L —— 跨距(mm)

1.6 —— 当施加合理的外力 W 时,每100mm 皮带下垂量为1.6mm

W —— 施加的外力(kg/每根皮带),合理的外力见表1-15-59

表1-15-59

皮带张力测定表

皮带型号	传动侧皮带轮直径(mm)	W·加压(kg/每根皮带)		
		最 小	拉 紧	最 大
5V-NO2000	313	6.4	8.2	9.4

(二)流浆箱的压头损失计算

【说明】以下以日本三菱重工制造的三菱—贝洛依特飘片集流式流浆箱的技改为例进行计算说明,供参考。

流浆箱的压头损失包括三个部分,即管束损失、孔板损失及飘片损失。流浆箱的压头损失见图1-15-87。

1. 管束与孔板的压头损失计算

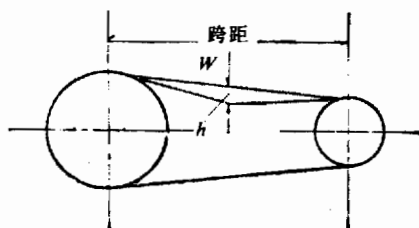


图1-15-86 皮带张紧度示意图

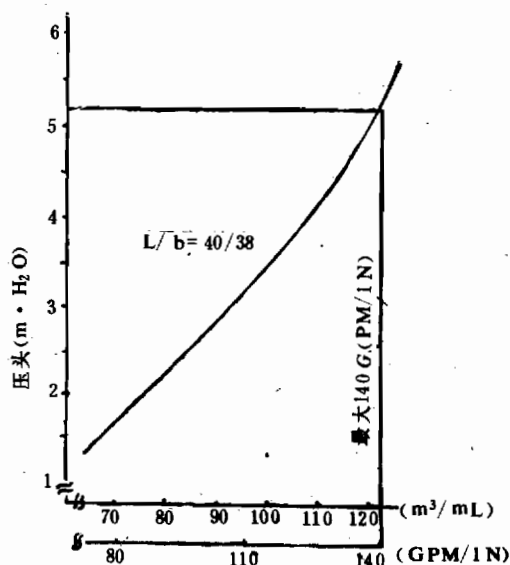


图1-15-87 流浆箱压头损失曲线

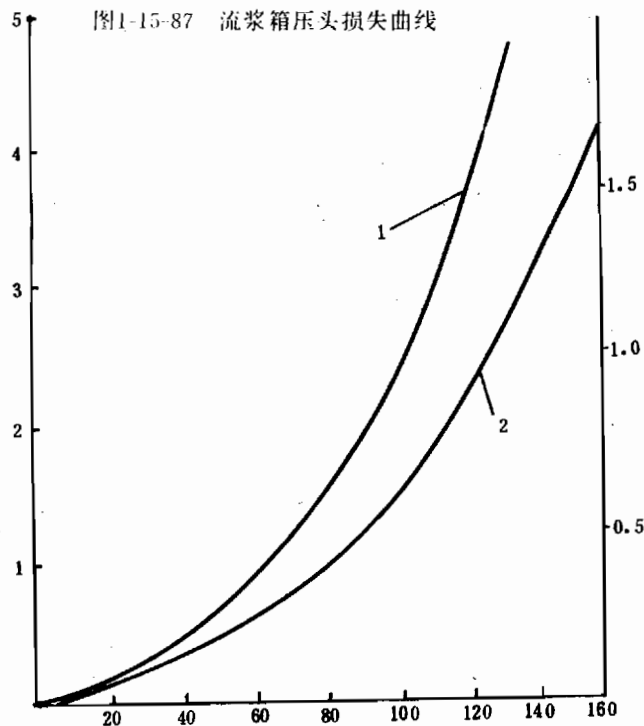


图1-15-88 流浆箱管束、孔板压头损失曲线

1—管束压头损失 2—孔板压头损失

【说明】 管束与孔板的压头损失见图1-15-88。

2. 飘片的压头损失计算

① 计算法

【公式】

$$\Delta h = (2.743 \times 10^{-3} - 8.129 \times 10^{-9} Q) \frac{Q^2}{d^2} \quad (1-15-664)$$

式中 Δh —— 压头损失 (mH₂O)

d —— 飘片间距 (mm)

Q —— 流量 (m³/min), 与喷浆压头、堰口开度及堰唇长度有关, 可在图1-15-89中查出

② 查图法

【说明】 如图1-15-89所示, 查找飘片压头损失, 需先确定三个参数: 流量 Q 、堰口开度 B 、堰唇长度 L 。飘片间距 d 对定型的流浆箱是常数。 Q 可由产量和流浆箱的浓度计算得来; 堰口开度 b 可根据所选流浆箱的浓度而定; 堰唇长度 L , 可根据着网点的距离定出来。查找飘片压头损失时, 先确定堰口开度, 然后通过堰唇长度查找流量曲线, 即可确定。

【例】 若车速 $V = 600$ m/min, 流浆箱内浆浓 $c = 0.25 \sim 0.3\%$, $b = 38$ mm, $L = 40$ mm, 产品定量为 $q = 80$ g/m², 堰宽为 $B = 6$ m 时, 求飘片的压头损失。

解: 纸机产量

$$G = \frac{0.06qBV}{60 \times 1000} = \frac{0.06 \times 80 \times 6 \times 600}{60 \times 1000} = 0.288 \quad (\text{t/min})$$

$$\text{纸料流量 } Q = \frac{G}{C} = \frac{0.288}{0.25\%} = 115 \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

取 $Q = 120 \text{ m}^3/\text{min}$, 查图1-15-89得 $\Delta h = 0.4 \text{ mH}_2\text{O}$

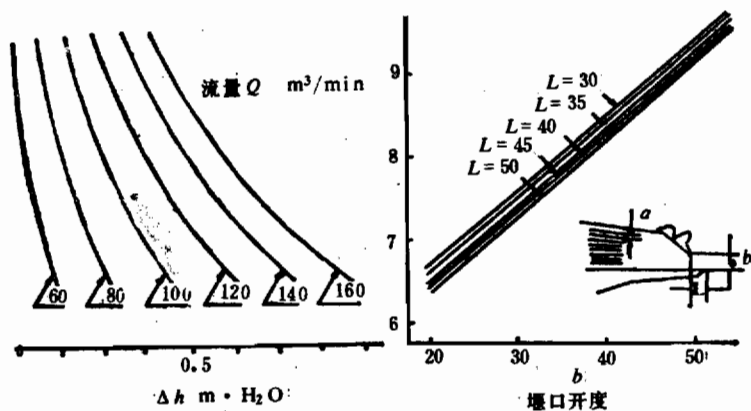


图1-15-89 飘片压头损失曲线

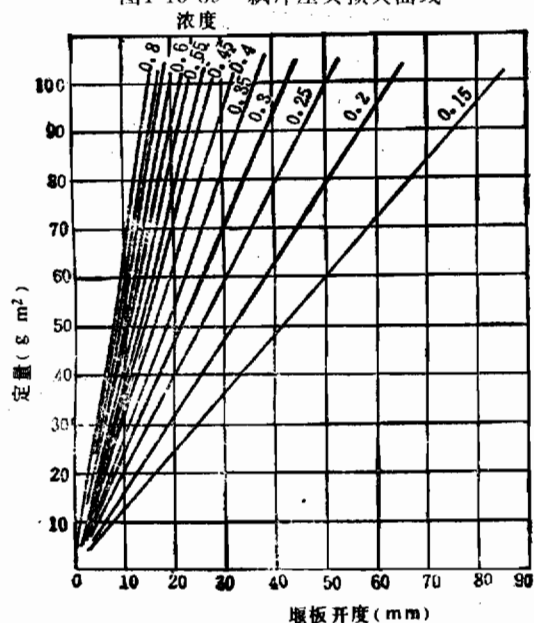


图1-15-90 堰口开度与定量、浓度关系曲线

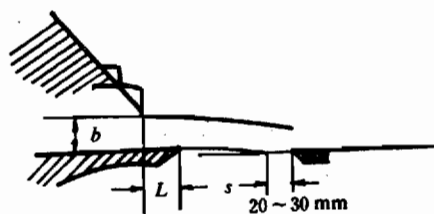


图1-15-91 着网点关系示意图

(三) 实际压头给定与投入运转计算

1. 压头理论数值的选择

【公式】

$$H = \frac{V^2}{2g} \quad (1-15-665)$$

式中 H ——理论压头(mH_2O)
 V ——车速(m/s)
 g ——重力加速度, 9.81m/s^2

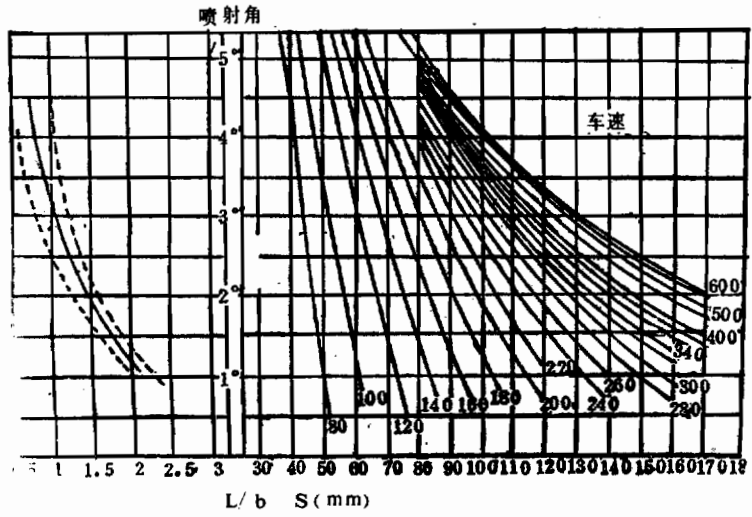


图1-15-92 着网点关系曲线

【例】如车速为600m/min,理论压头为:

$$H = \frac{V^2}{2g} = \frac{(\frac{600}{60})^2}{2 \times 9.81} = 5.1(\text{mH}_2\text{O})$$

【附表】 根据上述公式计算得车速与压头关系如表1-15-60。

2. 实际压头给定计算

表1-15-60 车速与理论压头的关系

车速(m/min)	理论压头(mH ₂ O)	车速(m/min)	理论压头(mH ₂ O)	车速(m/min)	理论压头(mH ₂ O)
390	2.156	460	2.999	530	3.981
400	2.268	470	3.131	540	4.133
410	2.382	480	3.265	550	4.287
420	2.500	490	3.403	560	4.444
430	2.620	500	3.543	570	4.605
440	2.744	510	3.686	590	4.933
450	2.870	520	3.832	600	5.012

【说明】 实际压头等于理论压头加上压头损失。由于网前箱的压力测定点在飘片的起端,因此,压头损失可以不计管束损失和孔板损失,仅计飘片损失 Δh 即可。

【公式】

$$H' = H + \Delta h \tag{1-15-666}$$

式中 H' ——压力整定值(mH_2O)

H ——理论压头(mH_2O)

Δh ——飘片损失(mH_2O)

【例】 车速为600m/min 的理论压头为5.1 mH_2O (见上例),飘片损压为0.400 mH_2O ,

则压力整定值为:

$$\begin{aligned} H' &= H + \Delta h \\ &= 5.100 + 0.400 = 5.500(\text{mH}_2\text{O}) \end{aligned}$$

3. 给定值投入

【说明】 集流飘片流浆箱为满流式,流浆箱的压头改变是通过改变混合泵的转数来完成的,混合泵靠直流电机驱动,全流量控制。混合泵的转数可以用手动调整,通过快慢速两档升速或者降速,也可以投入流浆箱压力自控系统,这时压头按给定值运行。而更多的情况下,是计算机操作,在浆网系数给定后,混合泵的运转将自动适应变化了的工艺条件,诸如车速变化等。

(四)浓度的调整及堰口开度的计算

【说明】 浓度调整的手段是调整堰口开度,在压头和绝干浆量不变的情况下,堰口开度大,单位时间流量大,浓度变小。欲降低流浆箱浓度,先抬堰口,这时压力下降,自控时,压头自动补偿到原整定位置;而手动时,则应马上调整压头,使其维持在原整定位置上。堰口的开度可用下式计算选择,并绘成图1-15-90。

【公式】

$$b = \frac{0.125q}{C} \quad (1-15-667)$$

式中 b ——堰口开度(mm)

q ——纸的定量(g/m^2)

C ——浓度(%)

【例】 当定量为 $80\text{g}/\text{m}^2$ 时,浓度选择在 $0.25\sim 0.3\%$,合理的 b 值应该是 $30\sim 40\text{mm}$,为使浓度略偏下限,可选择 38mm 。

(五)着网点的控制计算

【说明】 浆料自堰口喷出落在网面上,其落点叫着网点。堰口与着网点的距离 S (见图1-15-91)是初期脱水的重要参数。理论的着网点位置是在成形板前 $20\sim 30\text{mm}$ 。因此,成形板的位置是非常重要的。着网点与流浆箱压头、堰口开度以及成形板的安装位置有密切关系,见图1-15-92。

要确定成形板的位置,首先要选择下列数据:喷浆压头 H ,按运行车速进行计算;堰口开度 b ,按流浆箱浓度进行选择;堰唇长度 L ,据 b 值选择,主要考虑堰口开度在标准位置时,使堰板的水平移动亦在可调范围的中间值上。

查着网点的关系曲线,需先求出 L/b 的值,然后根据车速得到堰口与着网点的距离 S ,再加 $20\sim 30\text{mm}$,即为成形板的位置。

【例】 车速为 $600\text{m}/\text{min}$,流浆箱浓度为 $0.25\sim 0.3\%$, b 取 38mm , L 取 400mm ,则 $\frac{L}{b} = 1.05$,在图1-15-92中纵坐标上找到 $L/b = 1.05$ 的喷射角度,再沿水平方向右移,借助于车速曲线得到相应的 S 值,其值约为 140mm ,故成形板与堰口间的距离为:

$$140 + 30 = 170(\text{mm})$$

【着网点的检查】 在正常生产中,往往因为改变了流浆箱的浓度而改变了 b 值,使着网点发生变化。当成形板前缘脱水量过大,甚至发生振动时,则需要考虑使着网点向成形板方向移动。

【着网点的调整】 先根据 S 值(成形板与堰口的距离减去20~30mm)在车速曲线上找到一点,再沿该点水平移动查出 L/b 值,根据 b 值求出 L 值, L 值的调整是由上唇板位移来完成的。由于结构上的原因,上唇板位移轨迹是一弧线。因此,想改变上下唇的相对位置,必须根据 L/b 的关系找出位置角度,再根据关系表调整 L 值,见表1-15-61。

表1-15-61

L/b 关系表

L mm	水 平 距 离 (mm)												
	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
5.0	-11.8	-9.4	-7.1	-4.7	-2.4	-0.1	2.2	4.5	6.7	9.0	11.3	13.5	
4.8	-12.2	-9.8	-7.4	-5.1	-2.8	-0.5	1.8	4.1	6.4	8.6	10.9	13.2	
4.6	-12.6	-10.2	-7.8	-5.4	-3.2	-0.8	1.5	3.8	6.0	8.3	10.6	12.6	
4.4	-13.0	-10.6	-8.2	-5.8	-3.5	-1.2	1.1	3.4	5.7	7.9	10.2	12.5	14.7
4.2	-13.4	-10.9	-8.6	-6.2	-3.9	-1.5	0.7	3.0	5.3	7.6	9.8	12.1	14.4
4.0	-13.8	-11.3	-8.9	-6.6	-4.2	-1.9	0.4	2.7	4.9	7.2	9.5	11.7	14.0
3.8	-14.2	-11.7	-9.3	-7.0	-4.6	-2.3	0.0	2.3	4.6	6.8	9.1	11.3	13.6
3.6	-14.6	-12.1	-9.7	-7.4	-5.0	-2.7	-0.4	1.9	4.2	6.4	8.7	11.0	13.2
3.4	-15.0	-12.6	-10.1	-7.8	-5.4	-3.1	-0.8	1.5	3.8	6.1	8.3	10.6	12.9
3.2		-13.0	-10.5	-8.2	-5.8	-3.5	-1.2	1.1	3.4	5.7	7.9	10.2	12.5
3.0		-13.4	-11.0	-8.6	-6.2	-3.9	-1.6	0.7	3.0	5.3	7.6	9.8	12.1
2.8		-13.8	-11.4	-9.0	-6.6	-4.3	-2.0	0.3	2.6	4.9	7.2	9.4	11.7
2.6		-14.3	-11.8	-9.4	-7.0	-4.7	-2.4	0.1	2.2	4.5	6.8	9.0	11.3
2.4		-14.7	-12.2	-9.8	-7.4	-5.1	-2.8	0.5	1.8	4.1	6.4	8.6	10.9

二、网部的技改计算

(一)张网装置的张力预选

【说明】 以日本三菱重工生产的 MHI 自动张网装置为例,其理论张力的预选可参考图 1-15-93。

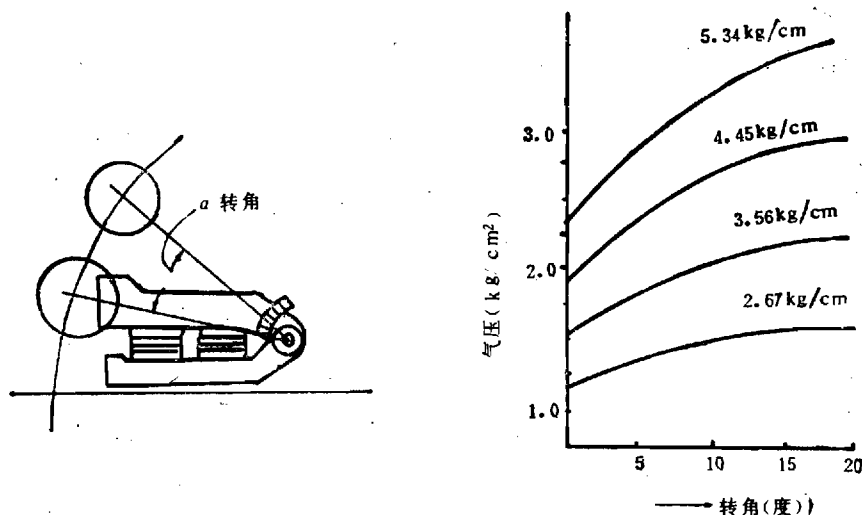


图 1-15-93 张网辊气压图表

(二)高压喷洗装置中高压泵运行的调整计算

1. 皮带轮平直度的核对

【说明】 核对主动、被动皮带轮是否在一条直线上的方法可参考图 1-15-94。

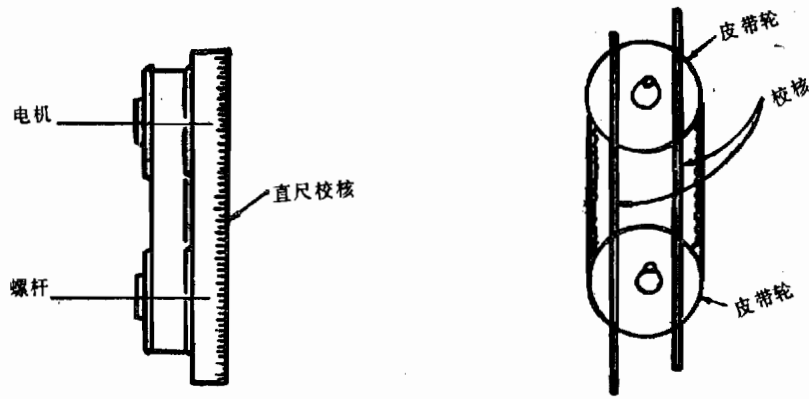


图 1-15-94 核对皮带轮平直度的方法

2. 皮带张力调节计算

【说明】 皮带张力的调节,应使当在皮带中点施加 2.6kg 的力时,其下垂距离为 3.6mm,见图 1-15-95。

(三) 胸辊中高曲线的绘制计算

【说明】 图 1-15-96 为一离心铸青铜胸辊,取中高度为 1.40mm,其中高度的数值分布及中高曲线的绘制见图 1-15-97。

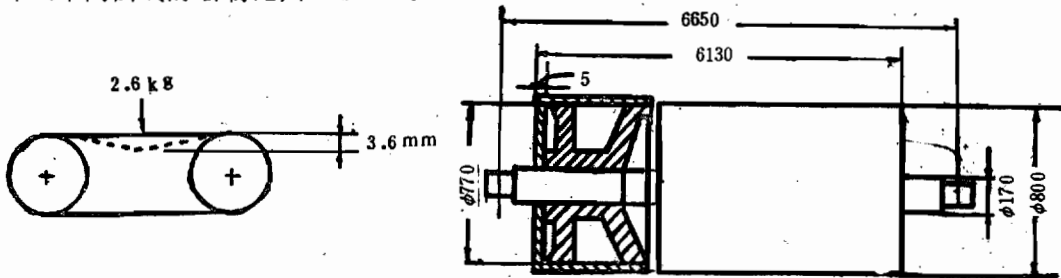


图 1-15-95 皮带张力调节示意图

图 1-15-96 胸辊尺寸图

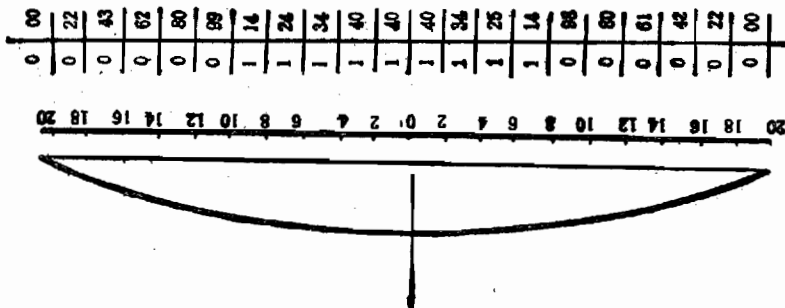


图 1-15-97 胸辊中高曲线

(四) 真空伏辊小室密封压力的控制计算

【说明】 以双真空小室、辊壳为离心铸青铜的真空伏辊为例,低压室操作真空度为 350~500mmHg,高压室操作真空度为 500~600mmHg,则其小室密封压力的控制见图 1-15-98。

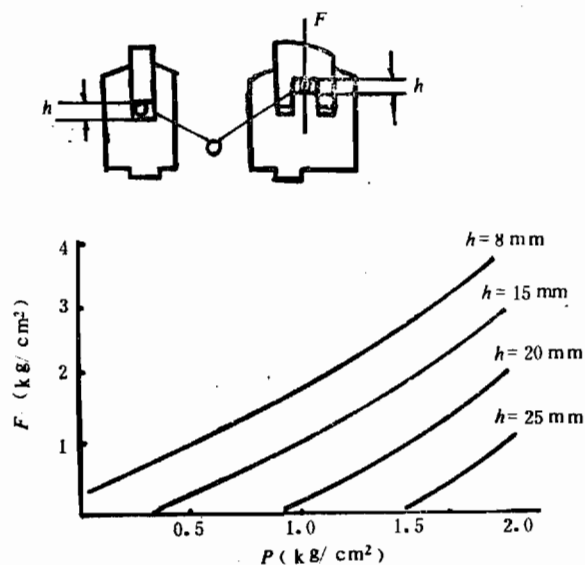


图 1-15-98 伏辊小室气压(P)与密封压力(F)关系曲线

(五)铜网的计算

【说明】以 65 目/in 铜网为例,其网子规格及尺寸见图 1-15-99 及表 1-15-62。

1. 换网余量的计算

【公式】

$$a = L_{\min} - L_H \quad (1-15-668)$$

式中 a — 换网余量(mm)

L_{\min} — 铜网最小长度(mm)

L_H — 换网长度(mm)

【例】在上述网子规格中,其换网余量为:

$$a = L_{\min} - L_H = 42887.3 - 42770 = 120 \text{ (mm)}$$

2. 伸长率的计算

【公式】

$$b = \frac{L_{\max} - L_H}{L_H} \times 100\% \quad (1-15-669)$$

式中 b — 伸长率(%)

L_{\max} — 网子最大长度(mm)

其它同上

【例】在上述网子尺寸中,其伸长率为:

$$b = \frac{L_{\max} - L_H}{L_H} \times 100\% = \frac{43301.2 - 42770}{42770} \times 100\% = 1\%$$

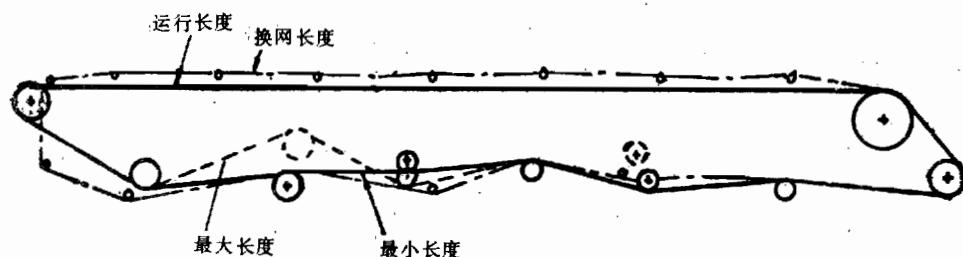



图 1-15-99 网规格示意图

表 1-15-92

网子的各项尺寸示例

最大长度 = 13301.2mm		
最小长度 = 12887.3mm		
换网长度 = 12770mm	a	
定货长度 = 12870mm		

三、压榨部的技改计算

(一) 真空压辊真空宽度的调整计算

【说明】 参见真空宽度调整曲线图 1-15-100。

【例】 已知真空宽度 $W = 5950\text{mm}$ ，其中前侧宽度 $W_1 = 2875\text{mm}$ ，后侧宽度 $W_2 = 2675\text{mm}$ ，则：

$$\text{前侧调整: } L_1 = \frac{200}{2} \cdot \frac{5950 - 2 \times 2875}{4} = 50(\text{mm})$$

$$\text{后侧调整: } L_2 = \frac{5950 - 2 \times 2675}{4} = 150(\text{mm})$$

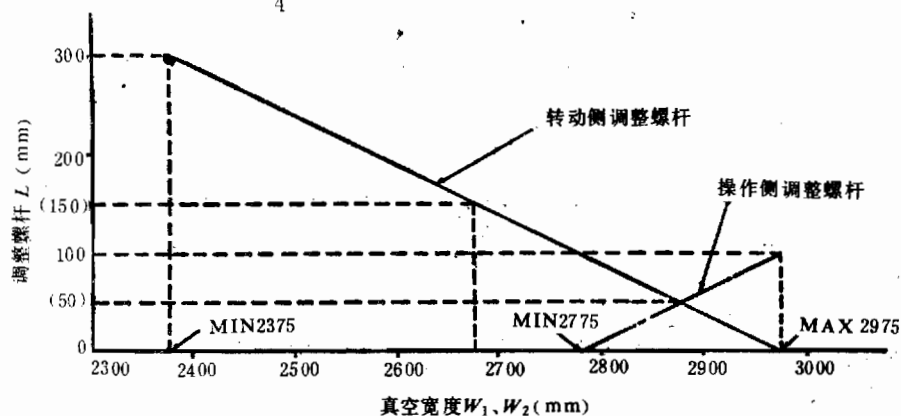


图 1-15-100 真空宽度调整曲线

(二) 可控中高辊油压控制系统计算器的运算

【说明】 可控中高辊油压控制系统如图 1-15-101 所示。计算器的运算方法可用下式进行。

【公式】

$$P_0 = (P_a - K_1) + P_b \quad (1-15-670)$$

式中 P_0 —— 计算机输出压力, 将 19.6~98KPa 的信号压力转换成 0~98KPa

P_a —— 中高设计空气压力, 转换同前

P_b —— 空气变送器输出压力, 转换同前

K_1 —— 偏差 (-0.125~1.25)

G —— 增益 (可变范围 0.1~1.0)

【讨论】 ① 当 $P_b = 0$ 时, $P_a = 100\%$,
则: $b = G(1 - K_1)$

式中 b —— 设定值为 100% 时的偏差量

② 当 $P_b = 0, P_a = 0$ 时, 则:

$$C = G(0 - k_1) \quad (1-15-672)$$

式中 C —— 设定值为 0 时的偏差量

③ 式 1-15-671 减去式 1-15-672 得:

$$G = b - c \quad (1-15-673)$$

④ 将式 1-15-673 代入式 1-15-672 得:

$$K_1 = \frac{C}{b - C} \quad (1-15-674)$$

【例】 假定主油压最大为 2940kPa (30kg/cm²), 加压空气压力为 533kPa (5.435kg/cm²), 则可得出下图所示的关系曲线。见图 1-15-102。

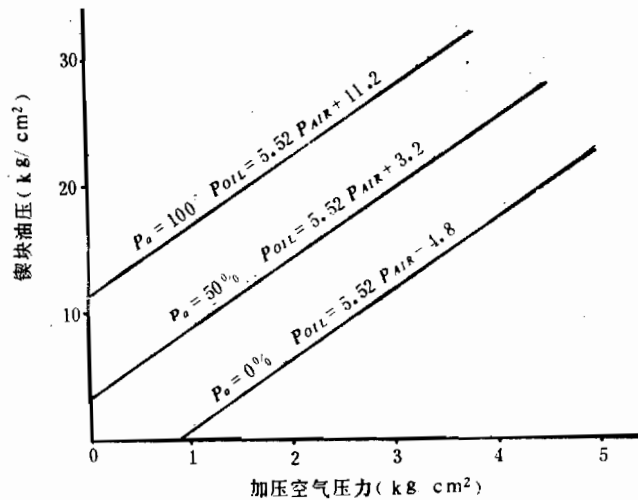


图 1-15-102 空气压力与油压关系曲线

根据式 1-15-673 得:

$$G = \frac{11.2 - (-4.8)}{30} = 0.5333$$

根据式 1-15-674 得:

$$K_1 = \frac{-4.8}{11.2 - (-4.8)} = 0.3$$

(三) 压区的压力计算

【说明】以复合三辊双压区压榨为例,计算各压区的压力。见图 1-15-103。

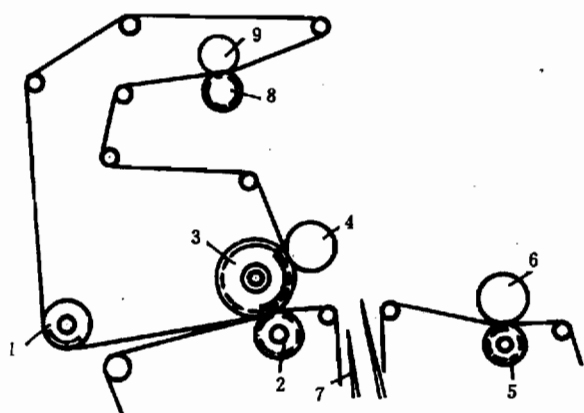


图 1-15-103 压榨部主要设备布置图

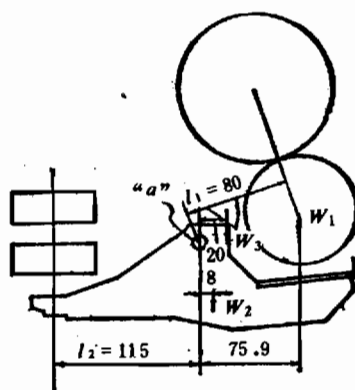


图 1-15-104 一压区压力换算图

1—引纸辊 2—复合压榨底辊 3—中辊
4—上辊 5—可控中高辊 6—二压上辊 7—压损池

1. 一压区的压力计算

【说明】一压区的受力分析如图 1-15-104。

【公式】

$$N = \frac{4Al_2}{l_1L}P - \frac{M}{l_1L} \quad (1-15-675)$$

式中 N —— 压区线压(kg/cm)

P —— 空气压力(kg/cm²)

A —— 有效面积(cm²)

L —— 压区长度(cm)

M —— 重力矩(kg·cm)

l_1 —— 力臂(cm), 见图 1-15-104

l_2 —— 力臂(cm), 见图 1-15-104

【例】已知: $L = 595\text{cm}$, $A = 2410\text{cm}^2$, $M = 1.1 \times 10^6\text{kg} \cdot \text{cm}$, $l_1 = 80\text{cm}$, $l_2 = 115\text{cm}$, 求压区线压与空气压力的关系。

解:

$$N = \frac{4Al_2}{l_1L}P - \frac{M}{l_1L}$$

将已知数代入得:

$$N = 23.29P - 23.1$$

2. 二压区的压力计算

【说明】二压区压力的换算见图 1-15-105。

【公式】

$$N = \frac{4A_0l_2}{l_1L}P + \frac{M}{l_1L}(\text{加压}) \quad (1-15-676)$$

$$N = \frac{2A_1 l_2}{l_1 L} Q + \frac{M}{l_1 L} \text{ (抬起)} \quad (1-15-677)$$

式中 N —— 压区线压(kg/cm)

A_0 —— 加压时有效面积(cm²)

A_1 —— 抬起时有效面积(cm²)

M —— 重力力矩(kg · cm)

$l_1 l_2$ —— 杠杆力臂(cm), 见图 1-15-105

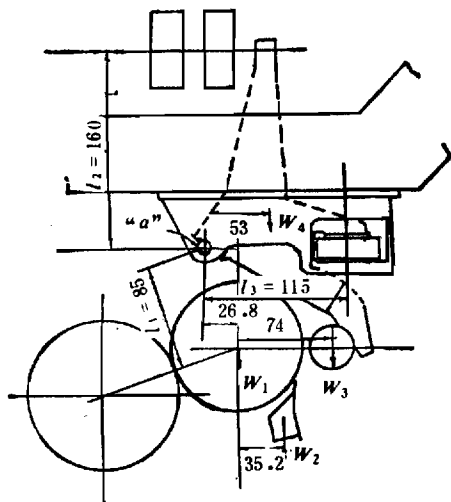


图 1-15-105 二压区压力换算图

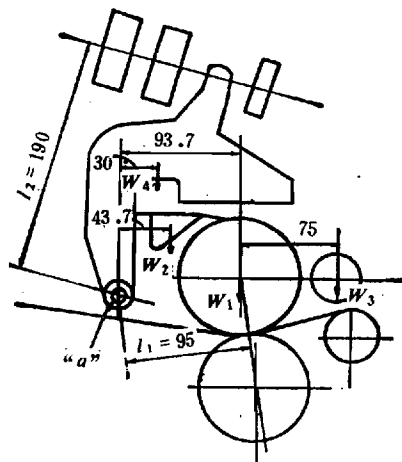


图 1-15-106 三压区压力换算图

【例】 已知 $L = 595\text{cm}$, $A_0 = 2017\text{cm}^2$, $A_1 = 1386\text{cm}^2$, $M = 7.23 \times 10^5 \text{kg} \cdot \text{cm}$, $l_1 = 85\text{cm}$, $l_2 = 160\text{cm}$, 求加压及抬起时压区压力与空气压力的关系。

解: 将已知数据分别代入式 1-15-676 及式 1-15-677 得:

加压时: $N = 25.5 P + 14.29$

抬起时: $N = -6.3 Q + 14.29$

式中 Q —— 抬起时空气压力(kg/cm²)

P —— 加压时空气压力(kg/cm²)

3. 三压区的压力计算

【说明】 三压区的压力换算如图 1-15-106。

【公式】

$$N = \frac{4A_0 l_2}{l_1 L} P + \frac{M}{l_1 L} \quad (1-15-678)$$

$$N = \frac{2A_1 l_2}{l_1 L} Q + \frac{M}{l_1 L} \quad (1-15-679)$$

式中符号含义及单位同式 1-15-676 和式 1-15-677

【例】 $L = 595\text{cm}$, $A_0 = 2063\text{cm}^2$, $A_1 = 1356\text{cm}^2$, $M = 1.85 \times 10^6$, 则加压与抬起时压区压力与空气压力的关系分别为:

加压时: $N = 27.74P + 32.7$

抬起时: $N = -9.11Q + 32.7$

(四) 压榨辊的中高曲线

【说明】 参见图 1-15-103, 设压榨辊中高的配合如表 1-15-63, 则中高曲线见图 1-15-107。

(五) 压榨辊中高的研磨计算

表 1-15-63

压榨辊中高配合表

辊名称	直径	个数	覆面材质	运转线压(kg/cm)	配合中高(mm)	中高(mm)
一压底辊	850	1	铸铁			1.037
真空辊	1240	1	13Cr+Mo	50	2.205	1.168
				65	1.668	
二压上辊	990	1	铸铁			0.5
三压上辊	990	1	铸铁	95		0.5
三压下辊	850	1	SC46			可控中高
洗压上辊	810	1	铸铁			1.763
洗压下辊	850	1	铸铁	45	2.8	1.037

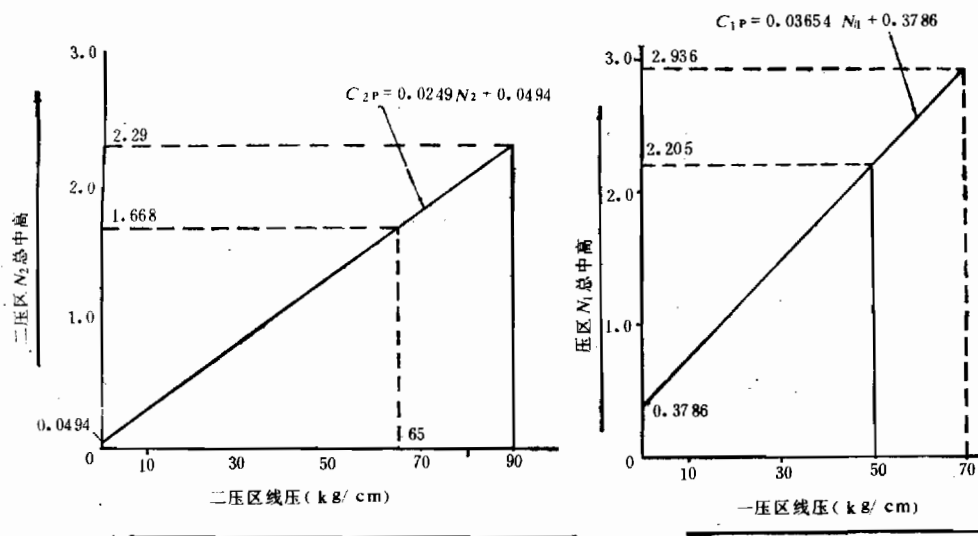


图 1-15-107 一、二压区中高曲线

【说明】 中高曲线为抛物线型, 压辊曲线各点的分布计算如下。

【公式】

$$x = P \frac{Y^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (1-15-680)$$

式中 x —— 中心线至有效中高点的高度(mm)

Y —— 中心线至有效中高点的距离(mm)

P —— 曲线的高度(mm)

L —— 中高长度(mm)

【研磨】 ①二压上辊和三压上辊的研磨曲线见图 1-15-108。包胶辊、可控中高辊、真空辊研磨曲线见图 1-15-109。中高 $2P = A - B$ 。

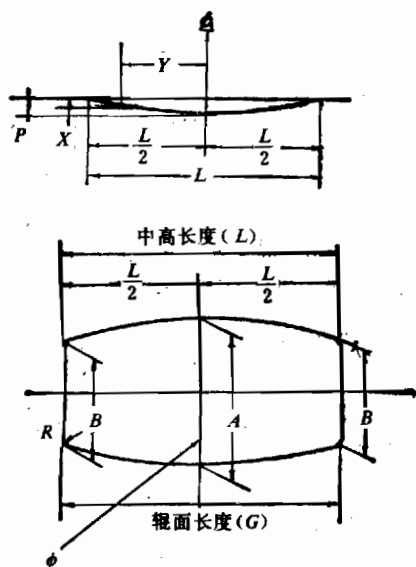


图 1-15-108 二、三压上辊研磨曲线

【附表】 研磨尺寸见表 1-15-64。

表 1-15-64 压榨辊中高研磨数据

辊 名	C	L	A _Φ	B _Φ	DrQ	E _{BN}	R	F
引纸辊	6285	6285	865	865	0	0	—	—
一压底辊	6100	5950	850	848.963	75	75	5	1/12
真空压榨辊	6350	5950	1240	1238.832	238	162	10	1/16
二压上辊	6100	6100	990	989.5	0	0	5	—
三压上辊	6100	6100	990	989.5	0	0	5	—
三压下辊	6050	5950	850	850	50	50	5	1.8
洗压上辊	6100	5950	810	808.237	75	75	15	1/16
洗压下辊	6100	5950	850	848.963	75	75	5	1/12

注：参考图 1-15-108 及图 1-15-109。

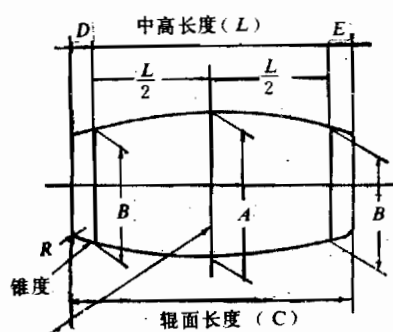


图 1-15-109 包胶辊的研磨曲线

四、干燥部的技改计算

(一)烘缸内水环形成的临界速度计算

【说明】 烘缸内的冷凝水随车速的提高，则在缸内形成水环。水环厚度达到临界值时，则破裂，然后逐渐形成，再破裂，引起烘缸传动负荷变化，并影响热效率。

【公式】

$$V_c = \beta_0 \frac{\sqrt[3]{V^2}}{\sqrt{\gamma}} \cdot \frac{\sqrt[8]{R^4 g^7}}{\mu^4} + \sqrt{g R \pi} \quad (1-15-681)$$

式中 V_c —— 形成水环的临界速度(m/s)

β_0 —— 系数

V —— 烘缸单位宽度的冷凝水量(m^3)

γ —— 水的密度(kg/m^3), 取 $\gamma=1000$

g —— 重力加速度($9.81\text{m}/\text{s}^2$)

μ —— 水的粘度($\text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)

R —— 烘缸直径(m)

πR —— 烘缸液面半径(m)

$\sqrt{gR\pi}$ —— 水环表面线速度(m/s)

(二) 水环厚度与车速的关系计算

【说明】 从图1-15-110可看出, 车速越高, 水环越厚, 旋转虹吸管可以有效地防止水环形成。

【例】 车速为400m/min时, 缸内即可生成水环, 初始厚度3.8mm, 当冷凝水增加时, 水环加厚, 达到临界厚度时为18.6mm。

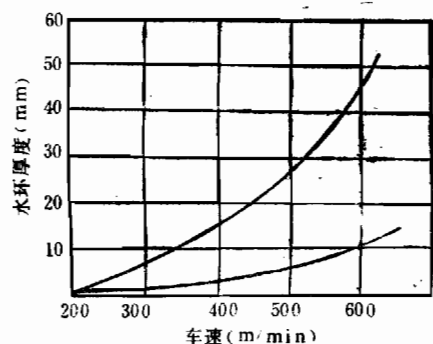


图1-15-110 车速与水环厚度的关系

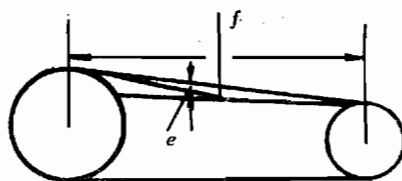


图1-15-112 皮带张紧示意图

(三) 干毯张力与气缸压力的关系计算

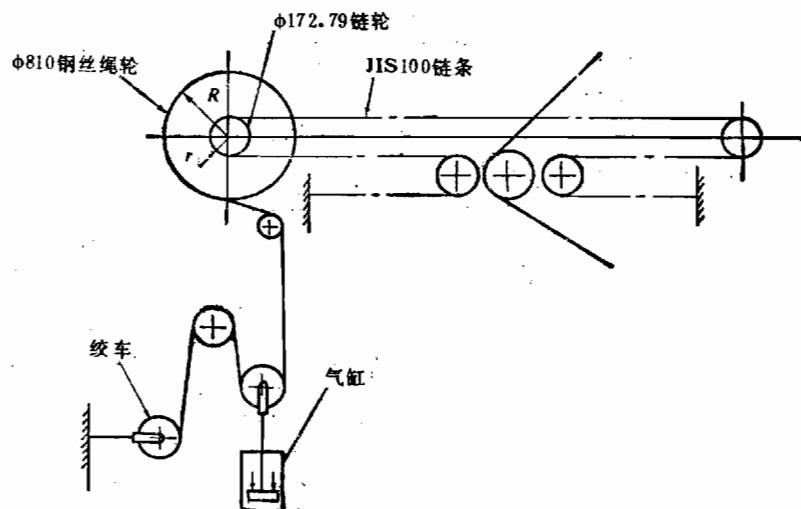


图1-15-111 干毯张力与气缸压力的关系

【说明】 图1-15-111为日本三菱重工制造的气动干毯张紧系统。干毯的张力与气缸

内空气压力的关系可用下式计算。

【公式】

$$P_a = \frac{2tHlr}{AR\eta} \quad (1-15-682)$$

式中 P_a —— 空气压力(kg/cm²)

t —— 干毯张力(kg/cm)

H —— 干毯宽度(cm)

A —— 气缸面积(cm²)

η —— 气缸效率(%)

r —— 链轮半径(cm)

R —— 钢丝绳轮半径(cm)

【例】 当 $H = 600\text{cm}$, $A = 188\text{cm}^2$, $\eta = 90\%$, $\frac{r}{R} = 0.21$ 时, P_a 与 t 的关系为:

$$P_a = 1.51t$$

(四)离心风机的计算

1. 异径管的长度计算

【说明】 若袋区通风风机采用离心机,要采用异径管时,可用下式确定异径管的长度。

【公式】

$$L = 4(D - d) \quad (1-15-683)$$

式中 L —— 异径管长度(m)

D —— 出口侧管的直径(m)

d —— 异径管出口直径(m)

2. 皮带的张紧计算

【说明】 皮带的张紧应满足当在两轮间皮带中心施加125N的力时,皮带下垂23mm,如图1-15-112。

(五)热水循环系统膨胀器膨胀容量的计算

【说明】 热水循环系统由于温度不同,其膨胀容积变化,为稳定系统的压力,其膨胀的容积由膨胀器吸收。膨胀容量是选择膨胀器体积以及检查膨胀器是否适应生产的依据。其计算方法可用公式计算,也可用查图法粗算。

1. 计算法

【公式】

$$V = LK \quad (1-15-684)$$

式中 V —— 膨胀体积(m³或L)

L —— 热水系统的总容积(m³或L)

K —— 膨胀系数,见表1-15-65

【例】 系统总水量为15500L,最大工作温度为90℃,查表得膨胀系数为0.0511,则膨胀容积为:

$$V = KL = 0.0511 \times 15500 = 792(\text{L})$$

2. 查图粗算法

【说明】 在系统总容积无法计算时,可用经验值:每千瓦的加热器需有13L的膨胀容积。见图1-15-113。

表1-15-65

膨胀器膨胀系数 K

最大工作温度 $^{\circ}\text{C}$	规定容量 L/kg	膨胀系数	膨胀容量 L/m^3	汽化压力
20	10017	0.00167	16.7	—
30	10043	0.0193	19.3	—
40	10078	0.0228	22.8	—
50	10121	0.0271	27.1	—
60	10171	0.0321	32.1	—
70	10228	0.0378	37.8	—
80	10292	0.0442	44.2	—
90	10361	0.0511	51.1	—
100	10437	0.0587	58.7	1.01
110	10519	0.0669	66.9	1.43
120	10606	0.0756	75.6	1.98
130	10700	0.0850	85.0	2.70
140	10801	0.0951	95.1	3.61
150	10908	0.1058	105.8	4.76

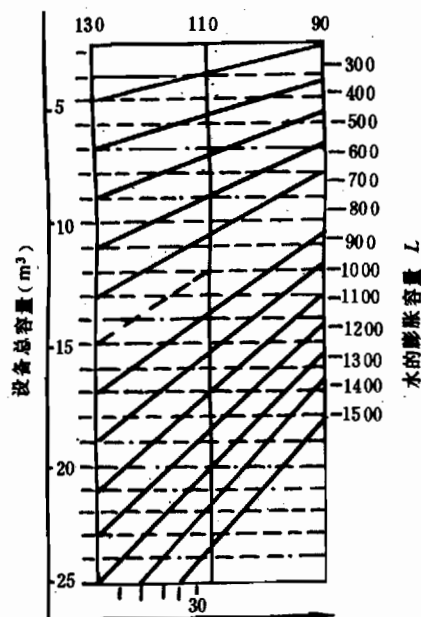


图1-15-113 水的膨胀容积图

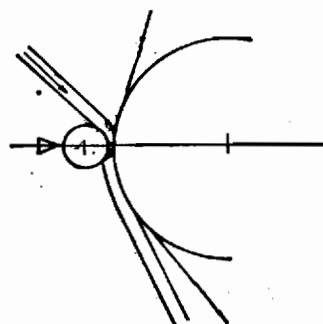


图1-15-114 伸性发生区示意图

【列】 已知总容积 15m^3 ，最高温度为 110°C ，则从纵座标上找到 15m^3 的位置，再找出斜线与 110°C 相交点，水平向右即可查到膨胀量为 1000L 。

五、伸性装置的计算

【说明】 在生产伸性纸时，纸页处在湿润、塑性状态，通过胶毯，在压区棒（不旋转）和伸性缸之间形成压区，胶毯被压延伸，离开延伸区时，胶毯放松并收缩，纸页以相同的收缩率收缩，如图1-15-114所示。

（一）伸性缸的 加热时间的确定

【说明】 只有当烘缸运转时,才能进行加热,首次加热烘缸,为了避免壳体的永久性变形,要慢慢地提高温度,以便使铸铁材料逐渐热膨胀。每小时温度不能超过 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$;在长期停机并冷却到环境温度后,要按图1-15-115所示的数值正确加热。

(二) 硅油喷涂系统计量泵的流量计算

【说明】 图1-15-116为一活塞膜片结构往复泵,由传动装置、齿轮箱和计量泵头组成,通过齿轮减速后,转化成活塞的往复运动,在泵运行中吸入和排出阀门交替打开,其流量计算如下。

【公式】

$$V = AHn$$

(1-15-685)

式中 V —— 容积流量 (m^3/s)

A —— 活塞面积 (m^2)

H —— 行程

(m)

n —— 行程频率 (次/s)

(三) 伸率与车速的关系

【说明】 伸率与车速的关系见图1-15-117。

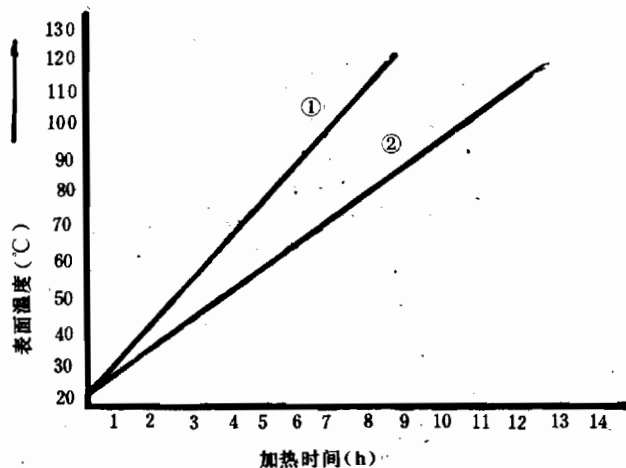


图1-15-115 伸性烘缸加热时升温曲线

①—用于再次加热 ②—用于首次加热

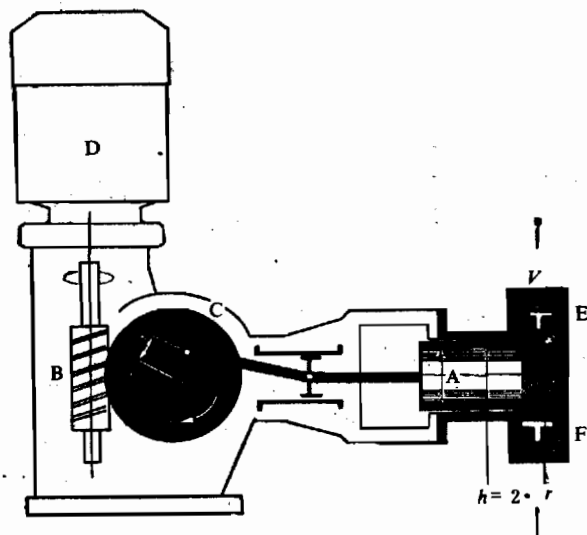


图1-15-116 计量泵工作原理

A—活塞 B—蜗轮蜗杆 C—曲柄 D—电机 E—排出阀 F—吸入阀

【讨论】 泵的容积流量由活塞直径、行程长度、频率决定,对于一台成品泵, A 为常数, n 为常数, H 可调。调节曲柄半径 r , 则可改变流量。行程 H 和流量 V 成线性变化。

六、主轴传动转矩离合器的正定负荷计算

【说明】 当差动齿轮箱(PVK)拖动的设备发生故障时,齿轮组负荷增大,转矩离合器动作,切断齿轮组的电源。转矩离合器的动作负荷调整计算可用下式。

【公式】

$$V = 1.5PK \quad (1-15-686)$$

式中 V —— 正定负荷

P —— PKV 输出轴功率

K —— 转矩比,指经转矩离合器之转矩占齿轮组输出轴转矩的百分率,一般取 3.2%

1.5 —— 允许最大超负荷系数

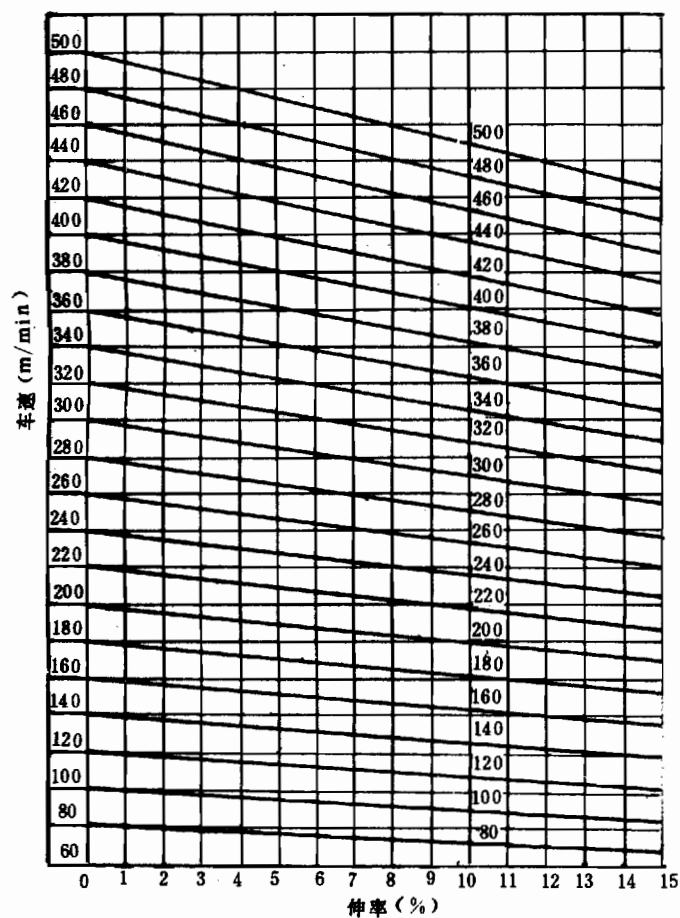


图1-15-117 伸率与车速的关系

第十六章 圆网造纸机的工艺计算

第一节 圆网成形器的工艺计算

一、浆速与网速的关系计算

【说明】 浆速指网槽内纸料的流速,网速指圆网笼迴转的线速度。生产中一般控制浆速与网速接近。如果浆速大大超过网速,则会引起较大的冲刷作用,并使成纸出现薄道子;如果浆速远远小于网速,由于滤水速度不相适应,会使纸料浓缩作用加强,使成纸产生浆块点,极大地影响成纸的匀度。除此之外,浆速与网速的关系,对成纸的纵横拉力比有较大影响。浆速与网速的关系用滞后系数 Φ 表示,据报道, Φ 值由 0.05 提高到 0.8 时,能使成纸的纵横向张力比由 2.5 : 1 降低到 1.63 : 1。

【公式】

$$\Phi = \frac{V_T}{V_C} \quad (1-16-1)$$

式中 Φ —— 纸页成形过程中纸料流速对圆网线速度的滞后系数

V_T —— 纸料流速(m/s)

V_C —— 圆网线速度(m/s)

二、圆网临界速度的计算

【说明】 临界速度是指当圆网迴转产生的离心力等于湿纸页在网上的重力和附着力之和时的车速。当实际车速大于圆网成型的临界车速时,则圆网无法形成湿纸页。

(一)顺流溢浆式网槽的临界速度计算

【说明】 对顺流溢浆式网槽,湿纸页受力情况如图 1-16-1。

【公式】

$$V = \sqrt{\frac{Rg}{G} \left\{ \gamma H + G \frac{(R-h)}{R} \right\}} = \sqrt{g(R-h+kR)} \quad (1-16-2)$$

式中 V —— 临界车速(m/s)

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

R —— 圆网笼的半径(m)

G —— 湿纸页的重力(N)

γ —— 纸料的重度(N/m³)

H —— 网内外水位差(m)

h —— 圆网笼露出液面的高度(m)

k —— 系数, $k \approx 5.7$

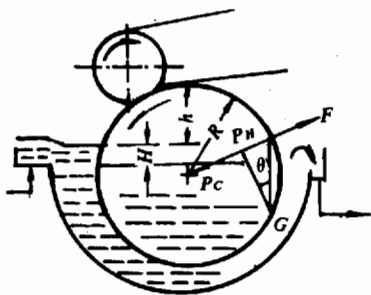


图 1-16-1 湿纸页在圆网上的受力分析

P_H —— 湿纸页作用于网上的重力(N)

P_c —— 湿纸页对圆网笼的附着力(N)

【讨论】 当网笼离开液面的瞬间时, $H=0$, (见图 1-16-2), 则:

$$V \leq \sqrt{g(R-h)} = \sqrt{gR \sin \theta} \quad (1-16-3)$$

式中符号含义及单位同式 1-16-4

【注意】 从理论计算来看, 圆网机的实际车速等于或小于临界车速, 但由于计算中省略了纤维的交织情况与表面张力的影响, 实际临界速度应大于上述计算的结果, 而纸机的实际车速也应大于理论临界车速。

(二) 加压圆网的临界速度计算

【说明】 为了提高圆网纸机的车速, 可以采用网外加压的办法(参考图 1-15-2)来解决, 效果比较显著。此时, 临界速度与外加压力的关系见图 1-15-3。

【公式】

$$V \leq \sqrt{Rg(\sin \theta + F'a)} \quad (1-16-4)$$

式中 V —— 临界车速(m/s)

R —— 网笼半径(m)

θ —— 湿纸页重力的径向分力与水平线的夹角(度)

$$\sin \theta = \frac{R-h}{R} \quad (1-16-5)$$

h —— 圆网笼露出浆面的高度(m)

g —— 重力加速度(m/s^2)

F' —— 外加压力(g/cm^2)

a —— 圆网上单位重量的质点 m 所占的面积(湿纸页比重约等于 1)(cm^2/g)

【例】 当 $\theta = 45^\circ$, $R = 0.5\text{m}$, $a = 4\text{cm}^2/\text{g}$, 采用的外加压力为 2g/cm^2 (即 $20\text{mmH}_2\text{O}$), 求临界车速。

$$\begin{aligned} \text{解: } V &= \sqrt{Rg(\sin \theta + F'a)} = \sqrt{0.5 \times 9.81(\sin 45^\circ + 2 \times 4)} \\ &= 6.54(\text{m/s}) \\ &= 392(\text{m/min}) \end{aligned}$$

三、圆网笼上纸页临界离心力的计算

【说明】 从理论上说, 在一定的网笼直径时, 有一个当积层离开网槽中的浆面后不被

离心力甩出的临界车速,此时的离心力为临界离心力。参考图 1-16-2。

【公式】

$$F = m \frac{V^2}{R} = mg \sin \theta + F_a \quad (1-16-6)$$

式中 F —— 临界离心力(N)

V —— 临界车速(m/s)

R —— 网笼半径(m)

mg —— 积层重力(N)

θ —— 受力角(度),见图1-16-2

F_a —— 积层与成形网的附着力(N)

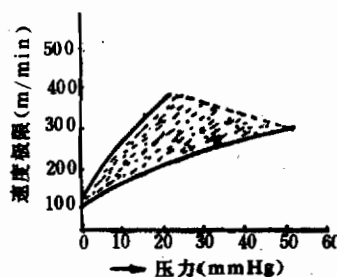


图1-16-3 外加压力与临界速度的关系

四、弧形板上浆点的浆速计算

【说明】 对于活动弧形板式网槽其上浆点的浆速可用下式计算。

【公式】

$$V_s = \frac{qV}{10^6 Ca} \quad (1-16-7)$$

式中 V_s —— 弧形板上浆点的浆速(m/min)

V —— 纸机的车速(m/min)

q —— 纸的定量(g/m²)

C —— 上网浆浓(%)

a —— 弧形板上浆点与网面间的距离(m)

【例】 某圆网纸机抄造50g/m²凸版纸,上网浆浓为0.2%。车速50m/min,活动弧形板网槽上浆点的最小距离可调到20mm,求弧形板上浆点的浆速。

解:

$$V_s = \frac{qV}{10^6 Ca} = \frac{50 \times 50}{10^6 \times 0.2\% \times \frac{20}{1000}} = 62.5(\text{m/min})$$

五、圆网纸机的车速计算

(一)圆网机的实际车速计算

【说明】 造纸机的实际车速可通过测定烘缸(或卷纸缸)转数计算。

【公式】

$$V = \pi D n \quad (1-16-8)$$

式中 V —— 纸机实际车速(m/min)

D —— 烘缸(或卷纸缸)的直径(m)

n —— 烘缸(或卷纸缸)的转数(r/min)

(二)纸机最大工作车速的计算

【公式】

$$V_{\max} = \frac{K_w \pi D}{0.06 q_i} \quad (1-16-9)$$

式中 V_{\max} ——纸机最大工作车速(m/min)

K_w ——单位网笼面积产纸量[kg/(h·m²)]见表1-16-1

D ——网笼直径(m)

q_i ——纸层定量(g/m²)

六、圆网造纸机抄造量的计算

【说明】圆网造纸机的抄造量是指从烘缸或卷纸缸上实际取下的纸卷的重量。

【公式】

$$G = 0.06qBV \quad (1-16-10)$$

式中 G ——圆网纸机实际抄造量(kg/h)

q ——纸的定量(g/m²)

B ——烘缸(或卷纸缸)上毛纸宽度(m)

V ——纸机车速(m/min)

七、圆网纸机产纸量的计算

【公式】

$$G = K_w \pi DB \quad (1-16-11)$$

式中 G ——产纸量(kg/h)

K_w ——单位网笼面积产纸量[kg/(h·m²)],见表1-16-1

D ——网笼直径(m)

B ——毛纸幅宽

表1-16-1

单位网笼面积产纸量 K_w

纸 板 品 种	厚 度 (mm)	车 速 (m/min)	单位网笼面积产纸量 [kg/(h·m ²)]		
在多圆网纸板机上生产的普通纸板*		20	45		
		30	50		
		40	55		
		50	60		
		60	65		
		75	75		
		100	85		
		125	95		
在单圆网纸板机上生产的屋面纸板原纸		20	100		
		30	140		
		40	180		
		50	220		
		60	260		
		70	300		
绝缘纸板	0.1~0.15 0.2~0.3 0.4~0.5	网槽循环浆流		网槽循环浆流	
		有	无	有	无
		70	25	25	15
		50	20	30	20
		30	15	30	20
		EMI 绝缘纸板	0.5	30	20
包装纸板	0.3 0.5~0.8	50	20	30	20
		30	15	30	20
纱管纸板	0.5	40	15	30	20

*注:定量为200~350g/m²时,应采用125m/min以下的车速;定量为400~500g/m²时,车速应在75~80m/min以下。

八、圆网机生产能力的计算

【公式】

$$G = \frac{0.06qB_mVK_1K_2K_3}{1000} \quad (1-16-12)$$

式中 G —— 生产能力(t/d)

q —— 定量(g/m²)

B_m —— 抄宽(m)

V —— 车速(m/min)

K_1 —— 抄造率(%)

K_2 —— 成品率(%)

K_3 —— 日平均生产时间(h)

九、圆网笼过滤面积的计算

【说明】 过滤面积即圆网浸入纸料中的挂浆面积。

【公式】

$$F = Vb = \frac{L}{t}b \quad (1-16-13)$$

式中 V —— 圆网机的线速度(m/s)

b —— 网面纸幅的宽度(m)

L —— 形成弧长度(m)

t —— 纸幅形成时间(s)

F —— 过滤面积(m²)

十、网笼直径的计算

【公式】

$$D = \frac{0.06q_iV_{\max}}{\pi K_w} \quad (1-16-14)$$

式中 D —— 网笼直径(m)

q_i —— 纸层定量(g/m²)

V_{\max} —— 最大工作车速(m/min)

K_w —— 网笼单位面积产纸量[kg/(h·m²)],见表1-16-1

十一、圆网部的浆水平衡计算

【公式】

$$Q_\lambda + W_\lambda = Q_{\text{出}} + Q'_{\text{出}} \quad (1-16-15)$$

$$Q_\lambda C_\lambda = Q_{\text{出}} C_{\text{出}} + Q'_{\text{出}} C'_{\text{出}} \quad (1-16-16)$$

$$\frac{g_\lambda}{C_\lambda} + W_\lambda = \frac{g_{\text{出}}}{C_{\text{出}}} + \frac{g'_{\text{出}}}{C'_{\text{出}}} \quad (1-16-17)$$

$$g_{\lambda} = g_{\text{出}} + g_{\text{出}}' \quad (1-16-18)$$

$$\frac{g_{\lambda}}{C_{\lambda}} + W_{\lambda} = \frac{g_{\text{出}}}{C_{\text{出}}} + \frac{g_{\lambda} - g_{\text{出}}}{C_{\text{出}}'} \quad (1-16-19)$$

式中 Q_{λ} ——输入该部分的纸浆或纸幅的总量(kg/h)

W_{λ} ——输入该部分并加入到纸浆或白水中去的清水(或蒸汽)的总量(kg/h)

$Q_{\text{出}}$ ——自该部分输出的湿纸幅(或干纸幅)或纸浆的总量(kg/h)

$Q_{\text{出}}'$ ——自该部分输出的白水总量(kg/h)

C_{λ} ——输入该部分的纸浆的浓度或纸幅的绝干干度(%)

$C_{\text{出}}$ ——自该部分输出的纸浆的浓度或纸幅的绝干干度(%)

$C_{\text{出}}'$ ——自该部分输出的白水的浓度(%)

$g_{\lambda}, g_{\text{出}}, g_{\text{出}}'$ ——分别为输入该部分的、自该部分输出的纸浆或纸幅中的以及自该部分输出的白水纤维(包括填料)的绝干含量(kg/h)

【方法】圆网纸机的浆水平衡的计算通常按以下办法进行:

- ①由卷纸机上的毛纸产量开始来逐段地进行计算;
- ②按实验测定的或选用的经验数据来预定出各部分的纸幅干度或纸浆浓度;
- ③按照造纸机的圈路图及一般的喷水管配备规律确定加入纸浆或白水中的喷水量;
- ④把水、纸浆的容重都近似取为1kg/l,以便于计算;
- ⑤按照纸机各脱水段的输入与输出绘出浆水平衡图以便于查阅与核对;
- ⑥全部浆水平衡计算后,核对输入的浆、水总量与输出的浆、水总量,二者应相等。

【例】某逆流式网槽的浆水平衡图例如图1-16-4。

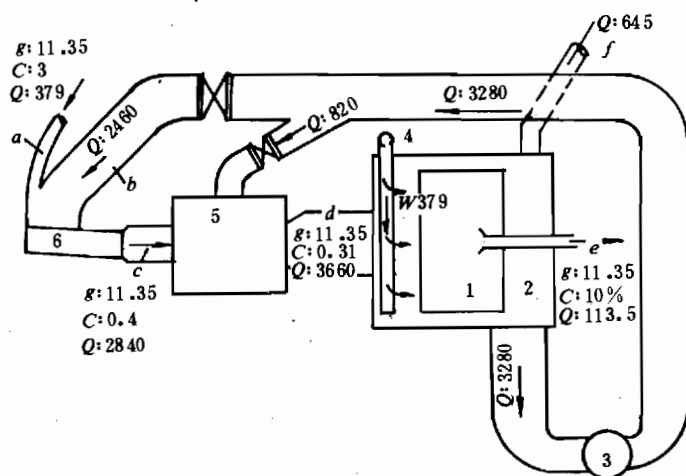


图1-16-4 逆流式网槽浆水平衡图例

1—网笼 2—网槽 3—白水 4—喷水管 5—混合箱 6—筛浆机
a—送入的新浆 b—白水 c—筛浆机输出的良浆 d—进逆流式网槽的纸浆 e—纸幅

第二节 圆网槽的工艺计算

一、传统圆网槽的设计计算

(一) 网槽的高度和液位尺寸的设计计算

【说明】 参见图1-16-5。

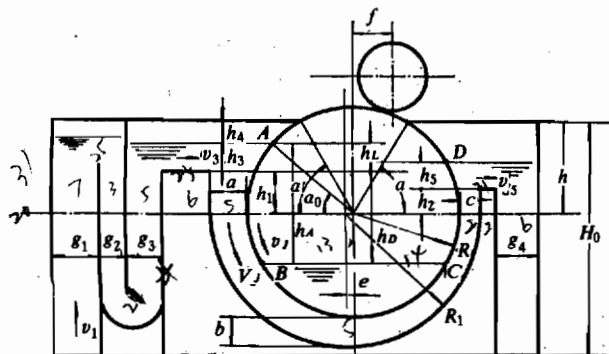


图1-16-5 网槽的结构尺寸

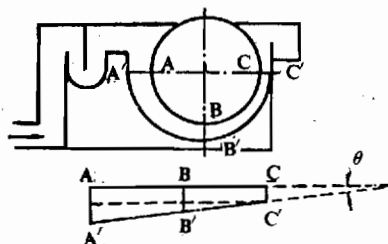


图1-16-6 顺流溢浆网槽“牛角道”尺寸设计

1. 自网笼水平中心线算起的网槽上半截高度 h 的计算

【公式】

$$h = R \sin \alpha = R \sin 55^\circ \approx 0.82R \quad (1-16-20)$$

式中 h —— 上半截高度(mm)

R —— 网笼半径(mm)

α —— 在网笼外圆上作一根弦的一半而张出的圆心角(度), 大多数顺流式或逆流式网槽中, α 角都不大于 60° , 一般可取 55°

2. 在增大设计流量时, 流向网笼的浆流的液面在环形道入口之上的高度 h_3 的计算。

【公式】

$$h_3 = \frac{Q_{\max} \times 10^6}{V_3 B_{w1}} \quad (1-16-21)$$

式中 h_3 —— 高度(mm)

Q_{\max} —— 最大设计流量(m^3/s)

$$Q_{\max} = (1 + K)Q_0 \quad (1-16-22)$$

K —— 溢流系数, 通常取 $K = 1.5 \sim 1.85$

Q_0 —— 按照上浆浓度、车速、纸种等工艺参数所决定的最大需用上浆量(m^3/s), 可由浆水平衡或生产量求得

V_3 —— 纸浆在环形流道上方调整板处的流速(m/s), 可取 $V_3 = V_w$

V_w —— 网笼的圆周速度(m/s)

B_w —— 网槽内净幅宽(mm)

3. 距网槽上边缘高度 h 的计算

【说明】 通常取 $h_4 = 75 \sim 100 \text{mm}$

4. 环形流道进口处位置在网笼水平中心线以上的高度 h 的计算

【公式】

$$h_1 = h - (h_3 + h_4) \quad (\text{mm}) \quad (1-16-23)$$

式中符号含义及单位同上

5. 纸浆在环形流道出口处进入溢流浆道时浆位高于环形流道高度 h_5 的计算

【公式】

$$h_5 = \frac{KQ_0 \times 10^6}{V_5 B_w} \quad (\text{mm}) \quad (1-16-24)$$

式中 V_5 —— 溢流浆速 (m/s)

$$V_5 = 0.8V_w \quad (1-16-25)$$

其它同上

6. 环形流道进出口处浆位差 h_L 的计算

【公式】

$$h_L = \frac{500V_J^5}{K_V^2 g} \quad (1-16-26)$$

式中 h_L —— 高度 (mm)

V_J —— 纸浆在环形流道中的流速 (m/s), 见表1-16-40

K_V —— 流速系数, 通常取为0.6~0.65

g —— 重力加速度 (9.81 m/s²)

7. 环形浆道出口高于网笼水平中心线 h_2 的计算

【公式】

$$h_2 = h - (h_4 + h_L + h_5) \quad (1-16-27)$$

式中 h_2 —— 高度 (mm)

其它同上

(二)网槽的流道尺寸的设计计算

【说明】 参考图1-15-5。

1. 网笼水平中心线上的环形流道出口截面的宽度 C 的计算

【公式】

$$C = \frac{KQ_0 \times 10^6}{V_J B_w} \quad (\text{mm}) \quad (1-16-28)$$

其中符号含义及单位均同上

2. 网笼水平中心线上的环形流道进口截面的宽度 a 的计算

【公式】

$$a = \frac{Q_{\max} \times 10^6}{V_J \cdot B_w} \quad (\text{mm}) \quad (1-16-29)$$

式中符号含义及单位同上

3. 环形流道底部截面宽度 b 的计算

【公式】

$$b = \frac{(0.25 + K)Q_0 \times 10^6}{V_J \cdot B_w} \quad (\text{mm}) \quad (1-16-30)$$

式中符号含义及单位同上

4. 环形流道内壁的圆弧半径 R 的计算

【公式】

$$R_1 = R + \frac{1}{2}(a + c) \quad (\text{mm}) \quad (1-16-31)$$

5. 圆心在网笼水平中心线上的半径为 R 的圆弧与网笼的中心距 e 的计算

【公式】

$$e = R_1 - (R + C) \quad (\text{mm}) \quad (1-16-32)$$

式中符号含义及单位均同上

6. 若使半径为 R 的圆弧的中心高于网笼的水平中心线时的距离 e_h 计算

【公式】

$$e_h = R_1 - (R + b) \quad (\text{mm}) \quad (1-16-33)$$

式中符号含义及单位同上

二、顺流溢浆网槽的设计计算

(一) 顺流溢浆网槽“牛角道”尺寸的计算

1. 理论设计计算

【说明】 参见图1-16-6。“牛角道”的尺寸的理论计算有两种方法，一种是参照生产上的实际数据来计算；另一种是根据浆速与网速相适应的关系来计算，后一种方法计算差距较大，故在此介绍第一种方法。

设： q —— 纸的定量 (g/m^2)

C —— 成纸干度 (%)

V —— 纸机抄速 (m/min)

B_m —— 卷纸机毛纸宽度 (m)

D —— 网笼直径 (mm)

b —— 网槽内宽 (m)

G —— 纸中绝干浆量 (g/L)

G_1 —— 进网槽的绝干浆量 (g/L)，一般控制 $G:G_1=1:1.8\sim 1:2$

Q —— 溢流浆量 (%) (对进浆液体总量)

V' —— 溢流浆在 $C-C'$ 处的流速 (m/min)

C_2 —— 浆料进网槽的浓度 (%)

θ —— 延长线夹角 (度)

① 进入网槽 $A-A'$ 处的浆液量 Q_1

【公式】

$$Q_1 = \frac{qB_mVCG_1}{1000C_2} \quad (1-16-34)$$

式中 Q_1 —— 流量 (l/min)

其它同上

② $C-C'$ 处的回浆量 Q_2

【公式】

$$Q_2 = \frac{Q_1 Q}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{min}) \quad (1-16-35)$$

式中符号含义及单位同上

③后口的宽度 $\overline{CC'}$

【公式】

$$\overline{CC'} = \frac{Q_2}{V' b} \quad (\text{m}) \quad (1-16-36)$$

式中符号含义及单位同上

④底口宽度 $\overline{BB'}$

【公式】

$$\overline{BB'} = \frac{\pi D}{4} \text{tg} \theta + \overline{CC'} \quad (\text{mm}) \quad (1-16-37)$$

式中符号含义及单位同上

⑤前口宽度 $\overline{AA'}$

【公式】

$$\overline{AA'} = \frac{\pi D \text{tg} \theta}{2} + \overline{CC'} \quad (\text{mm}) \quad (1-16-38)$$

式中符号含义及单位同上

【作法】 将前、底、后口的距离量出后,用圆弧连接起来,即构成“牛角道”。

2. 经验计算法

【说明】 上述理论计算比较麻烦,故一般纸厂都凭经验确定。如在抄造18~20g/m²薄页纸时,打浆度为45°SR,车速为50m/min,则可取 $\overline{AA'} = 130\text{mm}$, $\overline{BB'} = 100\text{mm}$, $\overline{CC'} = 70\text{mm}$ 。一般三个部位之间有如下关系。

【公式】

$$\overline{AA'} - \overline{CC'} = 2(\overline{AA'} - \overline{BB'}) \quad (1-16-39)$$

式中符号含义及单位均同上

(二)“牛角道”中浆料流速的计算

【说明】 对于普通顺流式或活动弧形板式网槽,其浆料在“牛角道”中的流速可用下式计算。

【公式】

$$V_J = \mu \sqrt{2gh} \quad (1-16-40)$$

式中 V_J —— 流速(m/s)

μ —— 流量系数,取0.6~0.65

g —— 重力加速度(9.81m/s²)

h —— 流道进出口处浆位差(m),见图1-16-7

$$h = \frac{V_J^2}{\mu^2 \cdot 2g} = \frac{M_\lambda^2}{2gb^2d_\lambda^2\mu^2} \quad (1-16-41)$$

M_λ —— 流道入口浆料流量(m³/s)

d_λ —— “牛角道”入口处的网槽与网笼之间的径向距离(m),见图1-16-7

b —— 网槽宽(m)

(三)顺流溢浆式网槽的设计计算实例

【说明】 该实例与上述计算从步骤及方法上有所不同,可参考运用(参见图1-16-5)。

【例】 1、设计依据

①工艺条件(生产书写纸)

V —— 纸机抄速: 70m/min

P —— 上浆浓度: 0.13%

G —— 纸的定量: 50g/m²

W —— 纸面宽: 1125mm

g —— 回浆量: 40%

②网笼规格

D —— 直径: $\Phi 1270$ mm

S —— 网笼面宽: 1300mm

W_1 —— 网有效宽度: $W_1 = W = 1125$ mm

③假设条件

A —— 网槽宽: 1480mm

L —— 滤面长: 2520mm

白水位与排浆无影响

④设计依据

圆弧三角形挂浆法

三角滤水法(回浆浓度大, 上浆浓度7.5%)

进口浆速 $V_1' = 75\%V$ (抄速)

出口浆速 $V_2' = 35\%V$ (抄速), 相当于: $V_2:V = 1:3$, 各点浆速呈正比例下降。

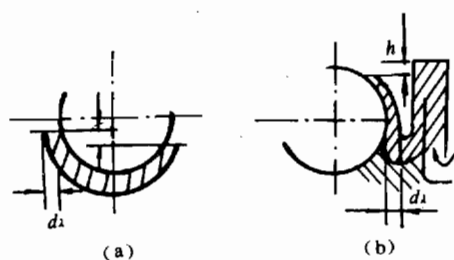


图1-16-7 顺流式网槽的“牛角道”设计

(a)顺流溢浆式 (b)活动弧形板式

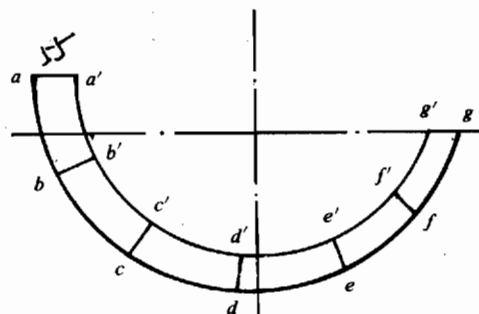


图1-16-8 “牛角道”尺寸

2. 网槽流浆箱的计算

①浆的流量 Q

【公式】

$$Q = \frac{VWG}{10^6 P} (1 + g) \quad (1-16-42)$$

$$= \frac{70 \times 1125 \times 50}{10^6 \times 0.13\%} (1 + 40\%)$$

$$= 4240 (\text{L/min})$$

$$= 4.24 (\text{m}^3/\text{min})$$

②流浆箱格宽计算

流浆箱分五格, 假设:

V_1 —— 第一格流速: 4m/min

V_2 —— 第二格流速: 6m/min

V_3 —— 第三格流速: 8m/min

V_4 —— 第四格流速: 11m/min

V_5 —— 第五格流速: 14m/min

a. 第一格宽 A_1

【公式】

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1000Q}{AV_1} & (1-16-43) \\ &= \frac{1000 \times 4.24}{1480 \times 4} \\ &= 0.715(\text{m}) (\text{取} 700\text{mm}) \end{aligned}$$

b. 第二格宽 A_2

【公式】

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1000Q}{AV_2} & (1-16-44) \\ &= \frac{1000 \times 4.24}{1480 \times 6} \\ &= 0.478(\text{m}) (\text{取} 480\text{mm}) \end{aligned}$$

c. 第三格宽 A_3

【公式】

$$\begin{aligned} A_3 &= \frac{1000Q}{AV_3} & (1-16-45) \\ &= \frac{1000 \times 4.24}{1480 \times 8} = 0.358(\text{m}) (\text{取} 350\text{mm}) \end{aligned}$$

d. 第四格宽 A_4

【公式】

$$\begin{aligned} A_4 &= \frac{1000Q}{AV_4} & (1-16-46) \\ &= \frac{1000 \times 4.24}{1480 \times 11} \\ &= 0.261(\text{m}) (\text{取} 260\text{mm}) \end{aligned}$$

e. 第五格宽 A_5

【公式】

$$\begin{aligned} A_5 &= \frac{1000Q}{AV_5} & (1-16-47) \\ &= \frac{1000 \times 4.24}{1480 \times 14} \\ &= 0.204(\text{m}) (\text{取} 200\text{mm}) \end{aligned}$$

3. 排浆部“牛角道”计算

【说明】 由已知条件知: $V_1' = 75\%V$, $V_2' = 35\%V$, 各项计算如下(分六等分), 速比按正比例下降。见图1-16-8

①“牛角道”各点浆速比

a 点浆速比 $V_1 = 75\%$

b 点浆速比 $V_2 = \frac{5}{6}(75-35)+35=68\%$

$$c \text{ 点浆速比 } V_3 = \frac{4}{6}(75-35) + 35 = 61.5\%$$

$$d \text{ 点浆速比 } V_4 = \frac{3}{6}(75-35) + 35 = 55\%$$

$$e \text{ 点浆速比 } V_5 = \frac{2}{6}(75-35) + 35 = 48.5\%$$

$$f \text{ 点浆速比 } V_6 = \frac{1}{6}(75-35) + 35 = 42\%$$

$$g \text{ 点浆速比 } V_7 = 35\%$$

②牛角道各点浆的浓度

$$a \text{ 点浆浓 } P_1 = 0.13\%$$

$$b \text{ 点浆浓 } P_2 = (1 + \frac{1}{6} \times 7.5\%) \times 0.13\% = 0.1317\%$$

$$c \text{ 点浆浓 } P_3 = (1 + \frac{2}{6} \times 7.5\%) \times 0.13\% = 0.1334\%$$

$$d \text{ 点浆浓 } P_4 = (1 + \frac{3}{6} \times 7.5\%) \times 0.13\% = 0.1351\%$$

$$e \text{ 点浆浓 } P_5 = (1 + \frac{4}{6} \times 7.5\%) \times 0.13\% = 0.1368\%$$

$$f \text{ 点浆浓 } P_6 = (1 + \frac{5}{6} \times 7.5\%) \times 0.13\% = 0.1384\%$$

$$g \text{ 点浆浓 } P_7 = (1 + 7.5\%) \times 0.13\% = 0.1402\%$$

③“牛角道”单位时间挂浆量 Q'

$$\begin{aligned} \text{【公式】 } Q' &= \frac{VWG}{10^6} & (1-16-48) \\ &= \frac{70 \times 1125 \times 50}{10^6} \\ &= 3940(\text{g/min}) \end{aligned}$$

④“牛角道”通过浆量 Q''

$$\begin{aligned} \text{【公式】 } Q'' &= Q'(1 + 40\%) & (1-16-49) \\ &= 3940(1 + 40\%) = 5520(\text{g/min}) \\ &= 5.52(\text{kg/min}) \end{aligned}$$

(4)“牛角道”尺寸的设计

① $\overline{aa'}$ 的计算

已知经过浆量 $Q_1 = Q'' = 5520(\text{g/min})$, 故:

$$\begin{aligned} \overline{aa'} &= \frac{(\frac{Q_1}{P_1 \times 10^6}) \times 1000}{AVV_1} & (1-16-50) \\ &= \frac{5520}{0.13\% \times 10^6 \times 1480 \times 70 \times 75} \times 1000 \\ &= 0.0533(\text{m}) \\ &= 55.3(\text{mm}) (\text{取 } 55\text{mm}) \end{aligned}$$

② $\overline{bb'}$ 的计算

a. $\overline{bb'}$ 前挂浆量 g_2

$$g_2 = \frac{\overline{aa'} + \overline{bb'}}{2} \times \overline{ab} \quad (1-16-51)$$

$$= \frac{\overline{aa'} + \frac{5}{6} \overline{aa'}}{2} - \frac{\overline{ag}}{6}$$

$$= \frac{11}{36} \times \frac{\overline{aa'} \cdot \overline{ag}}{2}$$

$$\therefore \Delta \frac{\overline{aa'} \cdot \overline{ag}}{2} = Q' = 3940 (\text{g/min}) \quad (1-16-52)$$

$$\therefore g_2 = \frac{11}{36} \times 3940 = 1200 (\text{g/min})$$

b. 经过浆量 Q_2

【公式】

$$Q_2 = Q_1 - g_2 = 5520 - 1200 = 4.320 (\text{kg/min})$$

c. $\overline{bb'}$ 的计算

$$\overline{bb'} = \frac{Q_2}{P_2 \times 10^6} \times 1000 \quad (1-16-53)$$

$$= \frac{4320}{0.1317\% \times 10^6} \times 1000$$

$$= \frac{4320}{1480 \times 70 \times 68\%} = 44/8 (\text{mm}) (\text{取 } 45 \text{mm})$$

③ $\overline{cc'}$ 的计算

a. $\overline{cc'}$ 前挂浆量 g_3

$$\text{【公式】 } g_3 = \frac{\overline{aa'} + \overline{cc'}}{2} \times \overline{ac} \quad (1-16-54)$$

$$= \frac{5}{9} \times \frac{\overline{aa'} \cdot \overline{ag}}{2}$$

$$= \frac{5}{9} Q'$$

$$= \frac{5}{9} \times 3940 = 2187 (\text{g/min})$$

b. 经过浆量 Q_3

【公式】

$$Q_3 = Q_1 - g_3 \quad (1-16-55)$$

$$= 5520 - 2187$$

$$= 3333 (\text{g/min})$$

c. $\overline{cc'}$ 的计算

【公式】

$$\overline{cc'} = \frac{Q_3}{P_3 \times 10^6} \times 1000 \quad (1-16-56)$$

$$= \frac{3333}{0.1334\% \times 10^6} \times 1000$$

$$= \frac{3333}{1480 \times 70 \times 61.5\%}$$

$$= 39/2 (\text{mm}) (\text{取 } 40 \text{mm})$$

④ $\overline{dd'}$ (挂浆中点) 的计算

a. $\overline{dd'}$ 前挂浆量 g_4

【公式】

$$\begin{aligned}
 g_4 &= \frac{\overline{aa'} + \overline{dd'}}{2} \times ad \\
 &= \frac{3}{4} \overline{aa'} \cdot \frac{\overline{ag}}{2} = \frac{3}{4} Q' \\
 &= \frac{3}{4} \times 3940 = 2960 (\text{g/min})
 \end{aligned}
 \tag{1-16-57}$$

b. 经过浆量 Q_4

【公式】

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= Q_1 - g_4 \\
 &= 5520 - 2960 \\
 &= 2560 (\text{g/min})
 \end{aligned}
 \tag{1-16-58}$$

c. $\overline{dd'}$ 的计算

$$\begin{aligned}
 \overline{dd'} &= \frac{Q_4}{P_4 \times 10^6} \times 1000 \\
 &= \frac{2560}{0.1351\% \times 10^6} \times 1000 \\
 &= \frac{2560}{1480 \times 70 \times 55\%} \\
 &= 33.3 (\text{mm}) (\text{取 } 35 \text{mm})
 \end{aligned}
 \tag{1-16-59}$$

⑤ $\overline{ee'}$ 的计算

a. $\overline{ee'}$ 前挂浆量 g_5

【公式】

$$\begin{aligned}
 g_5 &= \frac{\overline{aa'} + \frac{2}{6} \overline{aa'}}{2} \times \frac{4}{6} \overline{ag} \\
 &= \frac{8}{9} \times 3940 = 3500 (\text{g/min})
 \end{aligned}
 \tag{1-16-60}$$

b. 经过浆量 Q_5

【公式】

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= Q_1 - g_5 \\
 &= 5520 - 3500 \\
 &= 2020 (\text{g/min})
 \end{aligned}
 \tag{1-16-61}$$

c. $\overline{ee'}$ 的计算

【公式】

$$\begin{aligned}
 \overline{ee'} &= \frac{Q_5}{P_5 \times 10^6} \times 1000 \\
 &= \frac{2020}{0.1368\% \times 10^6} \times 1000 \\
 &= \frac{2020}{1480 \times 70 \times 48.5\%} \\
 &= 29.4 (\text{mm}) (\text{取 } 30 \text{mm})
 \end{aligned}
 \tag{1-16-62}$$

⑥ $\overline{ff'}$ 的计算

a. $\overline{ff'}$ 前挂浆量 g_6

【公式】 $g_6 = \frac{\overline{aa'} + \overline{ff'}}{2} \cdot af$

$$= \frac{35}{36} \times 3940$$

$$= 3830(\text{g/min})$$

b. 经过浆量 Q_6

【公式】

$$Q_6 = Q_1 - g_6 \quad (1-16-63)$$

$$= 5520 - 3830$$

$$= 1690(\text{g/min})$$

c. ff' 的计算

【公式】

$$ff' = \frac{Q_6}{P_6 \times 10^6 \times 1000} \times 1000 \quad (1-16-64)$$

$$= \frac{1690}{0.1385\% \times 10^6 \times 1000} \times 1000$$

$$= \frac{1690}{1480 \times 70 \times 42\%}$$

$$= 28(\text{mm})$$

⑦ gg' 的计算

a. $\overline{gg'}$ 前挂浆量 $g_7 = 3940(\text{g/min})$

b. 通过浆量 $Q_7 = Q_1 - g_7 \quad (1-16-65)$

$$= 5520 - 3940 = 1580(\text{g/min})$$

c. gg' 的计算

【公式】 $\overline{gg'} = \frac{Q_7}{P_7 \times 10^6 \times 1000} \times 1000 \quad (1-16-66)$

$$= \frac{1580}{0.1402\% \times 10^6 \times 1000} \times 1000$$

$$= \frac{1580}{1480 \times 70 \times 35\%}$$

$$= 31(\text{mm})(\text{取} 30\text{mm})$$

三、扩散式弧形板网槽的设计计算

【说明】 扩散式弧形板网槽与普通活动弧形板网槽基本相似,所不同的是,扩散式网槽有一个“突扩”部位,使纸料流速产生瞬时突变,纸料中纤维处于杂乱无章状态,便于相互交织,破坏絮聚;“牛角道”上移,从而减轻冲刷作用,改善纸页匀度。见图1-16-9。

(一) 纸机每小时产量 G

【公式】

$$G = 0.06qB_mV$$

式中 G —— 产量(kg/h)

q —— 定量(g/m^2)

V —— 车速(m/min)

B_m —— 有效抄宽(m)

(二) 绝干纸产量 G'

【公式】

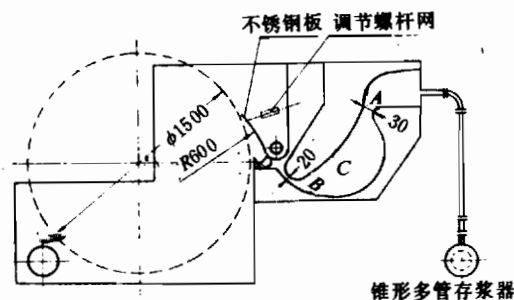


图1-16-9 扩散式弧形板网槽示意图

$$G' = \frac{G(1 - C_1)}{60} \quad (1-16-67)$$

式中 G' ——绝干纸产量(kg/min)

C_1 ——成纸水分(%)

其它同上

(三)网槽进浆量 Q

【公式】

$$Q = \frac{G'(1 + Q')}{C_2} \quad (1-16-68)$$

式中 Q ——进浆量(L/min)

Q' ——浆料溢流量(%)

C_2 ——浆料上网浓度(%)

其它同上

(四)突扩处(B处)截面积 F_B

【公式】

$$F_B = B_m h_B \quad (1-16-69)$$

式中 F_B ——截面积(m²)

h_B ——B处的间隙(m)

其它同前

(五)突扩处(B处)的纸料流速 V_B

【公式】

$$V_B = \frac{Q}{60F_B} \quad (1-16-70)$$

式中 V_B ——流速(m/s)

其它同上

(六)设计计算实例

【例】 已知某厂用单网单缸纸机生产卫生纸,采用扩散式弧形板网槽,其工艺条件如下:定量 $q = 22\text{g/m}^2$,抄速 $V = 100\text{m/min}$,有效抄宽 $B_m = 2200\text{mm}$,成纸水分 $C_1 = 8\%$,上网浆浓 $C_2 = 0.15\%$,浆料溢流量 $Q' = 25\%$,B处的间隙 $h_B = 20\text{mm}$,试求前述各项物理量。

解:① $G = 0.06qB_mV$

$$= 0.06 \times 22 \times 2.2 \times 100 = 290.45(\text{kg/n})$$

$$\textcircled{2} G' = \frac{G(1 - C_1)}{60} = \frac{290.45(1 - 8\%)}{60} = 4.45(\text{kg/min})$$

$$\textcircled{3} Q = \frac{G'(1 + Q')}{C_2} = \frac{4.45(1 + 25\%)}{0.15\%}$$

$$= 3708.3(\text{kg/min})$$

$$= 3.7083(\text{m}^3/\text{min})$$

$$\textcircled{4} F_B = B_m h_B = 0.02 \times 2.2 = 0.044(\text{m}^2)$$

$$\textcircled{5} V_B = \frac{Q}{60F_B} = \frac{3.7083}{60 \times 0.044} = 1.405(\text{m/min})$$

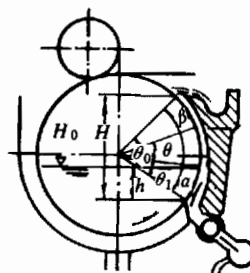


图1-16-10 Voith限流网槽

四、限流式网槽的设计计算

【说明】限流式网槽是西德 Voith 公司设计的(见图1-16-10),结构上与我国的活动弧形板式网槽相似,具有简单易行的特点,被认为是在车速125~150m/min 生产优质纸板投资和运行费用最经济的设备,可作为活动弧形板网槽改进的参考,也是现阶段我国纸板机改造的切实可行的设备。

【主要特征】流送部分采用带孔辊的多管进浆器,使横幅纸浆分布均匀;纸幅成形于约75°角的扁形面上;成形部分设有可精确调节的成形弧板,当浆速调节良好时,纵横向张力比为1.5~2.5:1;网内抽气减压,并保持一定的网内白水位,以减缓成形初期的剧烈脱水,从而得到较高的细小纤维保留率和良好的层间结合性。

(一)圆网成形器脱水能力的计算

【公式】

$$W = \sqrt{\frac{2BQVR\gamma}{\mu R_g C \theta}} [\theta_0(H_0 + 0.5H) - 0.5\theta_1 h] \quad (1-16-71)$$

式中 W ——脱水能力(m^3/s)

B ——圆网抄宽(m)

Q ——纤维上网率(%)

V ——网速(或车速)(m/s)

R ——圆网半径(m)

μ ——白水粘度,可取与水的粘度相同,在20℃时, $\mu = 1.02 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^2$

R_g ——纤维重量比阻,与肖伯尔打浆度(°SR)有关(m/kg)

$$R_g = 4.8 \times 10^9 \frac{°SR - 4}{100 - °SR} \quad (1-16-72)$$

C ——上网浓度(g/l)

γ ——白水重度(kg/m^3)

θ ——从上浆点计起的成形角(弧度)

θ_0 ——总成形角(弧度)

θ_1 ——网内水位包角(弧度)

H ——网外水位(m)

h ——网内水位(m)

【注意】成形器脱水能力也可按下式计算。

$$W = \frac{10^{-3} q (1 - w_1) BV}{CQ} \quad (1-16-73)$$

式中 W ——脱水能力(m^3/s)

q ——成纸定量(g/m^2)

w_1 ——成纸水分(%)

其它同上

(二)成形弧长的计算

【说明】成形弧长 L 可用一元二次方程式进行计算。

【公式】

$$aL^2 + bL + c = 0 \quad (1-16-74)$$

式中 L —— 成形弧长(m)

a —— 系数

$$a = 0.9(1 - \eta^2) \quad (1-16-75)$$

$$\eta = \frac{h}{H} \approx \frac{\theta}{\theta_0} \quad (1-16-76)$$

b —— 系数

$$b = 2H_0 \quad (1-16-77)$$

C —— 系数

$$C = \frac{-4.8\mu(1 - w_1^2)(^\circ\text{SR} - 4)}{Q(100 - ^\circ\text{SR})} \cdot \frac{q^2V}{C} \quad (1-16-78)$$

其它符号含义及单位同上

(三) 限流式网槽的生产能力计算

【公式】

$$G = qV \quad (1-16-79)$$

式中 G —— 生产能力[g/(s·m 宽)]

q —— 定量(g/m²)

V —— 网速(或车速)(m/s)

(四) 总成形角 θ_0 的计算

【公式】

$$\theta_0 = \frac{L}{R} \quad (1-16-80)$$

式中 θ_0 —— 总成形角(弧度)

L —— 成形弧长(m)

R —— 网笼半径(m)

(五) 所需绝干纤维量 G'

【公式】

$$G' = 10^{-3} B_m V q (1 - W_1) \quad (\text{kg/s}) \quad (1-16-81)$$

式中符号含义及单位同上

(六) 总进浆量的计算

【公式】

$$M = \frac{G'}{CQ(1 - y)} \quad (1-16-82)$$

式中 M —— 总进浆量(m³/s)

y —— 溢流比(%)

其它同上

(七) 成形区进出口宽度 d_0, d'

【公式】

$$d_0 = \frac{M}{\Phi V B_v} \quad (1-16-83)$$

$$d' = \frac{M - W}{\Phi V B_v}$$

式中 d_0 ——进口宽度(m)

Φ ——浆网速比(用小数表示)

B_v ——网槽宽度(m)

V ——网速(m/s)

d' ——成形区出口(溢流口)宽度(m)

(八)限流式网槽设计计算实例

【例】如图1-16-10所示,已知限流式网槽的网笼直径 $D = 1.25\text{m}$,抄宽 $B_m = 2.10\text{m}$,网槽宽 $B_v = 2.22\text{m}$,网内真空度 $H_0 = 0.1\text{m}$,网内外水位比 $\eta = 0.25$,单网定量 $q = 80\text{g/m}^2$,水分 $w_1 = 7\%$,进浆浓度 $C = 4\text{g/L}$,要求网速 $V = 50\text{m/min} = 0.833\text{m/s}$,浆料打浆度为 50°SR ,浆网速比 $\Phi = 0.86$,假定纤维上网率 $Q = 0.75$,试计算:①生产能力;②成形弧长 L ;③总成形角 θ_0 ;④所需绝干纤维 G ;⑤总进浆量 M ;⑥成形区进出口宽度 d_0, d' ;⑦若用本例算得的限流式网槽,代替普通的活动弧形板式网槽,进浆浓度 $C = 2\text{g/L}$,生产 32g/m^2 的薄页纸,其它条件不变时,试计算其车速可达到多少?

解:①生产能力 G

$$G = qV = 80 \times 50 = 4000 [\text{g}/(\text{s} \cdot \text{m})] = 4 [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})]$$

②成形弧长 L

$$\because a = 0.9(1 - \eta^2) = 0.9(1 - 0.25^2) = 0.8438$$

$$b = 2H_0 = 2 \times 0.1 = 0.2$$

$$c = \frac{-4.8\mu(1 - w_1)^2(^\circ\text{SR} - 4)}{Q(100 - ^\circ\text{SR})} \cdot \frac{q^2 V}{C}$$

$$= \frac{-4.8 \times 1.02 \times 10^{-4} (1 - 0.07)^2 (50 - 4)}{0.75(100 - 50)} \cdot \frac{80^2 \times 0.833}{4}$$

$$= -0.6923$$

$$\therefore L = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-0.2 + \sqrt{0.2^2 + 4 \times 0.8438 \times 0.6923}}{2 \times 0.8438}$$

$$= 0.795(\text{m})$$

③总成形角 θ_0

$$\theta_0 = \frac{L}{R} = \frac{0.795}{\frac{1.250}{2}} = 1.272(\text{弧度}) = 73^\circ$$

④所需绝干纤维量 G

$$G = 10^{-3} B_m V q (1 - W_1)$$

$$= 10^{-3} \times 2.1 \times 0.833 (1 - 0.07)$$

$$= 0.130(\text{kg/s})$$

⑤总进浆量 M

$$M = \frac{G}{CQ(1 - y)} = \frac{0.130}{4 \times 0.75(1 - 0.2)} = 0.0542(\text{m}^3/\text{s})$$

⑥成形区进出口宽度 d_0, d'

$$d_0 = \frac{M}{\Phi V B_v} = \frac{0.0542}{0.86 \times 0.833 \times 2.22} = 0.0341(\text{m})$$

$$d' = yd_0 = 0.2 \times 0.0341 = 0.0068(\text{m})$$

$$\textcircled{7} \because c' = 2g/L, q = 32\text{g/m}^2,$$

$$\therefore a = 0.9(1 - \eta^2) = 0.9(1 - 0.25^2) = 0.8438$$

$$b = 2H_0 = 2 \times 0.1 = 0.2$$

$$c = \frac{-4.8\mu(1 - W_1)^2(^{\circ}\text{SR} - 4)}{Q(100 - ^{\circ}\text{SR})} \cdot \frac{q^2 V'}{C}$$

$$= \frac{-4.8 \times 1.02 \times 10^{-4} (1 - 0.07)^2 \times (50 - 4)}{0.75(100 - 50)} \cdot \frac{32^2 V'}{2}$$

$$= -0.266V'$$

代入方程 $aL^2 + bL + c = 0$ 得:

$$0.8438 \times 0.795^2 + 0.2 \times 0.795 - 0.266V' = 0$$

$$0.5333 + 0.159 = 0.266V'$$

$$\text{故: } V' = 2.60(\text{m/s}) = 156(\text{m/min})$$

第三节 圆网压榨的工艺计算

一、杠杆重锤加压上压榨辊的附加压力计算

【说明】 圆网机的普通三级杠杆加压装置如图1-16-11。

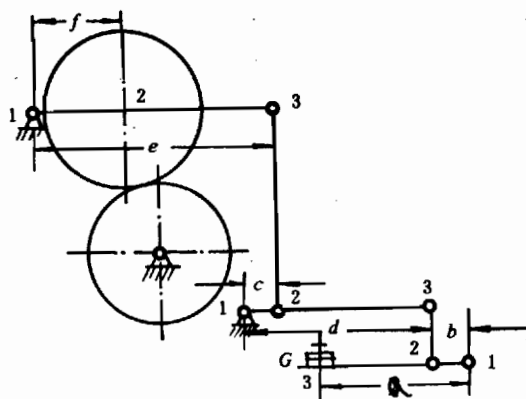


图1-16-11 圆网纸机杠杆加压机构

1—支点 2—重点 3—力点

【公式】

$$P_1 = G \frac{ade}{bcf} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (1-16-84)$$

式中 P_1 —— 压砣产生的总附加压力(N)

G —— 重锤的重力(N)

a, b, c, d, e, f —— 杠杆臂长(m), 见图1-16-11

η_1, η_2, η_3 —— 支点的有效作用系数, 通常取 $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = 0.8 \sim 0.97$

二、下压辊所受总压力的计算

【公式】

$$P = P_1 + P_2 \quad (1-16-85)$$

式中 P ——下辊所受总压力(N)

P_1 ——压砣产生的总附加压力(N), 见式1-16-84

P ——上压榨辊自重(N)

其它同上

三、气动加压附加压力的计算

【公式】

$$P = 2p \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{a}{b} \eta \quad (1-16-86)$$

式中 P ——附加压力(N)

p ——表压(Pa)

d ——气缸内径(m)

a, b ——杠杆臂长(m)

η ——有效作用系数, 取 $\eta = 0.9 \sim 0.95$

四、压榨辊的线压力的计算

【公式】

$$q = \frac{P}{b} = \frac{P_1 + P_2}{b} \quad (1-16-87)$$

式中 q ——线压力(N/m)

P ——加压下压辊的总压力(N)

P_1 ——两端附加压力(N)

P_2 ——上压辊重(N)

b ——压榨辊宽度(m)

第四节 干燥部的工艺计算

【说明】 使用高温高速热风罩的烘缸, 其干燥速率受烘缸表面温度、热风的温度及速度的影响。

一、传热计算

【说明】 传热包括纸与烘缸的接触传热及热空气与纸面的对流辐射传热, 单位面积的热量可用下式表示。

【公式】

$$Wr = \alpha_0(t_c - t_p) + \alpha_a(t_a - t_p) + Q_f \quad (1-16-88)$$

式中 W ——水分蒸发量(传质速率)[kg/(m²·h)]

r ——在纸页温度下的汽化潜热(kJ/kg)

α_0 ——从烘缸表面到纸页的给热系数[kJ/(m²·h·°C)]

t_c ——烘缸表面温度(°C)

t_p —— 纸页的温度(°C)

α_k —— 从空气到纸页的对流给热系数[kJ/(m²·h·°C)]

$$\alpha_k = mV^{0.75} \quad (1-16-89)$$

m —— 与喷嘴类型、空气性质和喷射距离等有关的系数

V —— 垂直冲击风速(m/s)

t_a —— 空气的温度(°C)

Q_f —— 辐射传递的热量(kJ/m²)

二、传质速率的计算

【说明】 通过纸页表面水蒸汽扩散的传质速率可用下式计算。

【公式】

$$W = K_m(P_m - P_n) \quad (1-16-90)$$

式中 W —— 传质速率[kg/(m²·h)]

K_m —— 传质系数[kg/(m²·h·atm)], K_m 主要受风速的影响

$$K_m = 36.8(1 + \frac{V}{1.27}) \quad (1-16-91)$$

V —— 垂直冲击风速(m/s)

P_m —— 纸页温度下的饱和蒸汽压(atm)

P_n —— 空气中的水蒸汽分压(atm)

第五节 圆网造纸机的尺寸规范计算

一、抄宽的计算

【说明】 抄宽指卷取机或卷纸缸上纸的宽度。

【公式】

$$B_m = B + a \quad (1-16-92)$$

式中 B_m —— 抄宽(mm)

B —— 净纸宽度(mm)

a —— 两边切边宽度之和(mm)

$$40 \leq a \leq 50$$

二、网面总宽 B_1

【公式】

$$B_1 = B_m + b_1 \quad (1-16-93)$$

式中 B_1 —— 网面总宽(mm)

b_1 —— 铜网两边宽度之和(mm)

$$150 \leq b_1 \leq 200$$

其它同上

三、网面有效宽度 B_2

【公式】

$$B_2 = \frac{B_m}{1 - \epsilon} \quad (\text{mm}) \quad (1-16-94)$$

式中 ϵ —— 纸的横缩率(%)

其它同上

四、网笼的面宽计算

【公式】

$$B_l = B_s + 2(a_1 + b_1) \quad (1-16-95)$$

式中 B_l —— 网笼面宽(mm)

B_s —— 湿纸幅宽(mm)

$B_s = B_2$ (见式1-16-95)

a_1 —— 湿纸每侧冲边或切边宽度(mm)

b_1 —— 网笼表面上每侧包带的宽度(mm),

$b_1 = 40 \sim 50 \text{mm}$

五、网槽的幅宽计算

【公式】

$$B_w = B_l + (100 \sim 130) \quad (1-16-96)$$

式中 B_w —— 网槽内净幅宽(mm)

其它同上

六、伏辊面宽的计算 B_3

【公式】

$$B_3 = B_1 + C \quad (\text{mm}) \quad (1-16-97)$$

$$\text{或} \quad B_3 = B_l + 100 \quad (\text{mm}) \quad (1-16-98)$$

式中 B_3 —— 伏辊面宽(mm)

C —— 附加宽度(mm)

$$30 \leq c \leq 50$$

其它同上

七、烘缸面宽 B_4

【公式】

$$B_4 = B_m + d \quad (\text{mm}) \quad (1-16-99)$$

式中 d —— 裕量(mm), $200 \leq d \leq 250$

八、托辊面宽 B_5

【公式】

$$B_5 = B_4 + e \quad (\text{mm}) \quad (1-16-100)$$

式中 e ——裕量(mm), $0 \leq e \leq 50$

九、压榨辊面宽 B_6

【公式】

$$B_6 = B_4 + f \quad (\text{mm}) \quad (1-16-101)$$

式中 f ——裕量(mm), $f = 0 \sim 50\text{mm}$

其它同上

十、真空脱水网辊压榨上辊面宽 B_7

【公式】

$$B_7 = B_1 + (0 \sim 50) \quad (\text{mm}) \quad (1-16-102)$$

式中符号含义及单位同上

第六节 板纸及绉纹纸的工艺计算

一、多圆网纸板机的毛纸产量计算

【公式】

$$G = \sum \frac{60q_i V_{\max} B_m}{1000} \quad (1-16-103)$$

式中 G ——产量(kg/h)

q_i ——各圆网成形器所抄制的纸层定量(g/m²)

V_{\max} ——纸板机最大工作车速(m/min)

B_m ——卷纸机上毛纸幅宽(m)

【例】一台净纸幅宽为4000mm的纸板机,一天内生产计划如下:以车速150m/min,定量300g/m²生产8h;以车速120m/min,定量400g/m²生产6h;以车速80m/min,定量600g/m²生产10h。生产期间,断纸时间依次为20、30、20+40min。每次断纸后还有1t损纸返回打浆机,2t返回纸料池。求:①三种定量的纸板的生产能力各为多少?②生产每种定量的纸板的毛产量和实际产量是多少?在每种生产情况下,纸板机的抄造率又是多少?③求一天的实际产量和各种损失量。

解:①生产300、400、600g/m²纸板的生产能力分别为:

$$G_1 = \frac{0.06q_1BV_1}{1000} = \frac{0.06 \times 300 \times \frac{4000}{1000} \times 150}{1000} = 10.8(\text{t/h})$$

$$G_2 = \frac{0.06q_2BV_2}{1000} = \frac{0.06 \times 400 \times \frac{4000}{1000} \times 120}{1000} = 11.5(\text{t/h})$$

$$G_3 = \frac{0.06q_3BV_3}{1000} = \frac{0.06 \times 600 \times \frac{4000}{1000} \times 80}{1000} = 11.5(\text{t/h})$$

②各种定量纸板的产量

a. 生产300g/m²纸板的理论产量 G_1' :

$$G_1' = G_1 t_1 = 10.8 \times 8 = 86.4 (\text{t/d})$$

$$\text{断纸20min 空运转损失量} = G \times \frac{1}{3} = 10.8 \times \frac{1}{3} = 3.6 (\text{t/d})$$

$$\begin{aligned} \text{总损失量} &= \text{回打浆机损失} + \text{回纸料池损失} + \text{空运转损失} \\ &= 1 + 2 + 3.6 = 6.6 (\text{t/d}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{实际产量} &= \text{理论产量} - \text{总损失量} \\ &= 86.4 - 6.6 = 79.8 (\text{t/d}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{抄造效率} &= \frac{\text{实际产量}}{\text{理论产量}} \times 100\% \\ &= \frac{79.8}{86.4} \times 100\% = 92\% \end{aligned}$$

b. 生产400g/m²纸板的理论产量 G_2' :

$$G_2' = G_2 t_2 = 11.5 \times 6 = 69 (\text{t/d})$$

$$\text{断纸30min 纸机空运转损失} = G_2 \times \frac{1}{2} = \frac{11.5}{2} = 5.75 (\text{t/d})$$

$$\begin{aligned} \text{总损失量} &= \text{空运转损失} + \text{回打浆机损纸量} + \text{回纸料池损纸量} \\ &= 5.75 + 1 + 2 = 8.75 (\text{t/d}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{实际产量} &= \text{理论产量} - \text{总损失量} \\ &= 69 - 8.75 = 60.25 (\text{t/d}) \end{aligned}$$

$$\text{抄造效率} = \frac{60.25}{69} \times 100\% = 87.3\%$$

c. 生产600g/m²纸板的理论产量 G_3' :

$$G_3' = G_3 t_3 = 11.5 \times 10 = 115 (\text{t/d})$$

$$\begin{aligned} \text{断纸20min 和40min 空运转损失} &= 11.5 \times \frac{1}{3} + 11.5 \times \frac{2}{3} \\ &= 11.5 (\text{t/d}) \end{aligned}$$

$$\text{总损失量} = 11.5 + 2 + 4 = 17.5 (\text{t/d})$$

$$\text{实际产量} = 115 - 17.5 = 97.5 (\text{t/d})$$

$$\begin{aligned} \text{③实际日产量} &= 79.8 + 60.2 + 97.5 \\ &= 237.5 (\text{t/d}) \end{aligned}$$

$$\text{回打浆机损纸总量} = 4 (\text{t/d})$$

$$\text{回纸料池损浆总量} = 8 (\text{t/d})$$

$$\text{断纸空运转总损失} = 3.6 + 5.8 + 11.5 = 20.9 (\text{t/d})$$

二、多层圆网纸板的面层收缩率的计算

【说明】 多层纸板具有特殊的卷曲问题。一般情况下, 纸板倾向于向着挂面层卷曲, 这是因为该侧的收缩性较大。因为外层和内层挂面一般是纸浆质量较高, 且经较高度度的打浆; 这种纸浆比起底层和填料层的回收纤维来, 其膨胀性和收缩性是较大的。smith 曾证明表面层的收缩是卷曲的原因, 就纸板而言, 面层在受湿时所测出的收缩(在造纸机上把一层薄纸插入到纸板第一层和第三层之间, 使面层与纸板的其余各层分离)与根据卷曲按以下公式计算出来的收缩是一样的。

【公式】

$$S = \frac{100t}{r} \quad (1-16-104)$$

式中 S —— 面层收缩率(%)
 t —— 纸板的厚度(mm)
 r —— 卷曲的半径(mm)

【讨论】 在干燥过程中,可以采用进入各个烘缸的蒸汽的方法来控制卷曲。例如,纸板的下面比上面干燥的强度大了(由于进入上排烘缸的蒸汽多了),纸板的下面就形成内部应变。纸板的润湿装饰或压光机施胶,卷曲是向着在施胶时接受水分最多的那一面。因此,必须通过所用水箱的数目或通过控制纸板上下两面的施胶程度,来控制压光施胶中的加水问题。用淀粉进行压光机施胶,可以施于纸张卷曲的相反面,也就是说施加于纸页的背面,可以控制卷曲。

三、瓦楞原纸的边压强度计算

【公式】

$$P = P_1(h - c)A + P_2TA \quad (1-16-105)$$

式中 P —— 瓦楞原纸的边压强度
 P_1 —— 箱板纸的环压强度
 P_2 —— 瓦楞原纸的环压强度
 h —— 瓦楞纸板的厚度
 c —— 在纸箱中除去中间瓦楞层的厚度(也就是两层箱板纸的厚度)
 A —— 瓦楞纸板的长度
 T —— 瓦楞原纸的厚度
 α —— 系数

四、纸板各层浆料量及其打浆周期的计算

【例】 一台抄宽为2.90m的纸板机,以200m/min车速生产300g/m²白色挂面纸板,成纸水分8%。各层的百分比是:挂面层23%,衬层16%,底层20%。挂面浆和衬层浆打浆机的载荷分别为1.40t风干浆和1.70t风干浆。计算:①各层所需浆料量?②挂面层和衬层打浆机的打浆周期。

$$\text{解: ① 纸板机产量} = \frac{0.06qB_mVT}{1000}(1 - 10\%) = \frac{0.06 \times 300 \times 2.9 \times 200}{1000} \times 92\% \times 90\% = 10.67(\text{t 风干纸/h})$$

各层的浆料量为:

$$\text{挂面层} = 23\% \times 10.67 = 2.45(\text{t/h})$$

$$\text{衬层} = 16\% \times 10.67 = 1.71(\text{t/h})$$

$$\text{底层} = 20\% \times 10.67 = 2.13(\text{t/h})$$

$$\text{中间层} = (1 - 23\% - 16\% - 20\%) \times 10.67 = 41\% \times 10.67 = 4.37(\text{t/h})$$

②打浆周期为:

$$\text{挂面浆打浆机打浆周期} = \frac{1.40 \times 60}{2.45} = 34(\text{min})$$

$$\text{衬层浆打浆机打浆周期} = \frac{1.70 \times 60}{1.71} = 60(\text{min})$$

五、板纸面层浆的含量及板纸填料含量的计算

【例】一台抄宽为2.5m的纸板机,以60m/min车速生产500g/m²的挂面纸板。每台面层浆打浆机载荷为1000kg纸浆和200kg高岭土,打浆周期为55min,高岭土在面层中的保留率为50%,计算:①面层浆的百分含量(假设无纤维流失);②在成品纸板中高岭土的百分含量。

$$\text{解:①纸板机产量} = \frac{0.06qB_mV}{1000} = \frac{0.06 \times 500 \times 2.5 \times 60}{1000} \\ = 4.5(\text{t/h})$$

$$\text{每台打浆机提供的面层纸料量} = 1000 + 200 \times 50\% \\ = 1100(\text{kg/h}) \\ = 1.1(\text{t/h})$$

$$\text{挂面层的百分含量} = \frac{1.1 \times 100\%}{4.5} = 26.67\%$$

$$\text{②高岭土在挂面层中的百分含量} = \frac{200 \times 50\%}{1100} \times 100\% = 9.09\%$$

$$\text{高岭土在纸板中的百分含量} = 9.09\% \times 26.67\% = 2.42\%$$

$$\text{或高岭土用量} = \frac{200 \times 50\%}{55} \times 60 = 109(\text{kg/h})$$

$$\text{高岭土在纸板中的百分含量} = \frac{109}{4.5 \times 1000} \times 100\% = 2.42\%$$

六、板纸相对耐破度及其与浆料配比的关系计算

【说明】将不同定量的纸的耐破度的试验结果换算成定量为100g/m²的纸的耐破度,称为相对耐破度,以N/m²表示。

【例】某纸板机生产牛皮箱板纸的配比为:未漂硫酸盐木浆30%,旧瓦楞纸箱浆40%,稻草浆30%。成品纸板的相对耐破度为2.82kgf/cm²,对配比中3种浆料分别进行手抄片试验,测得其相对耐破度分别为6.1、2.8和2.2kgf/cm²,求:①按原配比估算手抄纸板的相对耐破度及其在纸板机上的再现系数?②根据用户要求,成品纸板的相对耐破度为2.9kgf/cm²,在稻草浆配比不变的条件下,另外两种浆料配比应为多少?

$$\text{解:①未漂硫酸盐木浆提供的相对耐破度} = 6.1 \times 30\% = 1.83(\text{kgf/cm}^2) = 17.95 \times 10^4(\text{N/m}^2)$$

$$\text{废纸浆所提供的相对耐破度} = 2.8 \times 40\% = 1.12(\text{kgf/cm}^2) \\ = 10.98 \times 10^4(\text{N/m}^2)$$

$$\text{稻草浆所提供的相对耐破度} = 2.2 \times 30\% = 0.66(\text{kgf/cm}^2) \\ = 6.47 \times 10^4(\text{N/m}^2)$$

$$\text{故手抄纸板的相对耐破度} = 1.83 + 1.12 + 0.66 = 3.61(\text{kgf/cm}^2) \\ = 35.41 \times 10^4(\text{N/m}^2)$$

$$\text{手抄纸板相对耐破度在纸板机上的再现系数} = \frac{2.82}{3.61} = 0.78$$

$$\text{②当成品纸板的相对耐破度为} 2.9\text{kgf/cm}^2\text{时,手抄纸板的相对耐破度} = \frac{2.9}{0.78} = 3.72 \\ (\text{kgf/cm}^2) = 36.49 \times 10^4(\text{N/m}^2)$$

设未漂硫酸盐木浆的配比为 x , 废纸浆为 y , 则:

$$x + y = 1 - 0.3 = 0.7$$

则这两种浆料提供手抄纸板的相对耐破度为:

$$3.72 - 0.66 = 3.06 (\text{kgf/cm}^2) = 30.01 \times 10^4 (\text{N/m}^2)$$

$$\text{故: } 6.1x + 2.8y = 3.06$$

联立方程组:

$$\begin{cases} x + y = 0.7 \\ 6.1x + 2.8y = 3.06 \end{cases}$$

解之得: $x = 0.33$, 即 33%

$y = 0.37$, 即 37%

七、纤维板热压机的工作压力计算

【公式】

$$P = \frac{\pi}{4} d^2 p Z \eta \quad (1-16-106)$$

式中 P —— 热压工作的总压力(N)

p —— 高压水泵的工作压力(Pa)

d —— 水压缸柱塞的直径(m)

Z —— 水压缸个数

η —— 水压缸和管道效率, 无润滑剂的水是 90~95%, 加润滑剂后可达 95~97%

八、皱纹纸起皱的皱折度的计算

【说明】 纸在起皱前长度与起皱皱后长度之差值与皱纹纸长度之比称为皱折度。皱折度与纸在起皱前后的速度和单位面积绝干纸重有关。普通卫生纸的皱折度为 15~30%

【公式】

$$\alpha = \frac{L_1 - L_2}{L_2} \times 100\% \quad (1-16-107)$$

$$\alpha = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \times 100\% \quad (1-16-108)$$

$$\alpha = \frac{G_2 - G_1}{G_1} \times 100\% \quad (1-16-109)$$

式中 L_1, L_2 —— 起皱前后纸的长度(m)

V_1, V_2 —— 纸在起皱前后的速度(m/s)

G_1, G_2 —— 起皱前后单位面积绝干纸重(g/m²)

第十七章 加工纸的工艺计算

第一节 印刷类涂布纸的工艺计算

一、分散剂的种类及性能计算

【说明】分散剂是印刷类加工纸涂料制备的重要化学助剂,对制备含固量高、流动性好的颜料悬浮液具有重要作用。作为水相颜料分散剂的作用机理有两种:一是使各个颜料粒子表面形成同性电荷,保持粒子间具有相互的斥力;二是在颜料粒子上覆盖一层保护膜,减少粒子间的吸引力。分散剂的种类及其适用范围见表 1-17-1。分散剂对各种颜料分散特性参数见图 1-17-1~1-17-5。

二、颜料的粒度及对制品性能的影响计算

表 1-17-1

分散剂种类及其适用范围

分散剂名称	适 用 颜 料
六偏磷酸钠	高岭土、碳酸钙、滑石粉、二氧化钛、硫酸钡、白炭黑及部分其他无机颜料
焦磷酸钠(TSPP)	同六偏磷酸钠
硅酸钠(高模数)	二氧化钛、高岭土
干酪素	缟白、碳酸钙、高岭土及一般无机颜料
聚丙烯酸钠(低聚合度)	缟白、高岭土、碳酸钙、硫酸钡(可与聚磷酸盐合用),粘度稳定性好

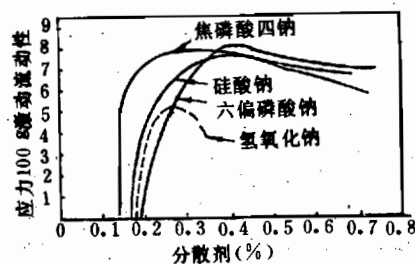


图 1-17-1 几种分散剂用量对高岭土水悬浮液粘度的关系

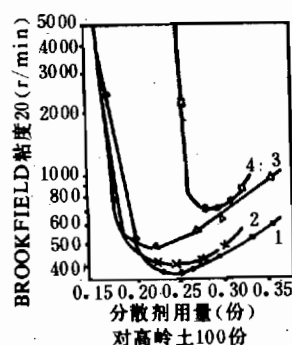


图 1-17-2 不同摩尔质量的聚丙烯酸钠分散1号高岭土用量与粘度的关系(分散液固含量10%)
1—750MW 2—1500MW 3—2500MW 4—4500MW

续表

种 类	化 学 组 成	粒子形状	粒径(mm)	相对密度	折射率	白度(%)	硬度(莫氏)
氢氧化铝	$\text{Al}(\text{OH})_3$	六角片状	0.5~1	2.4	1.57	98~99	3
煅白	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4$	针状	3	—	—	—	—
硫酸钡	$32\text{H}_2\text{O}$ BaSO_4	圆角状	0.5~2	4.35	1.65	98	3.5
硅酸钙	$80\text{SiO}_2 \cdot 7\text{CaO}$	球状	1~5	2.1	1.62	90~95	
硫酸钙	CaSO_4	—	1~5	2.96	1.58	96	
氧化锌	ZnO	不定形	0.3~0.5	5.6	2.01	97~98	
硫化锌	ZnS	针状	0.3~0.5	4.0	2.37	97~98	
聚苯乙烯颜料	$[\text{CH}_2\text{CHC}_6\text{H}_5]_n$	球状	0.2~0.5	1.05	1.59	—	
二氧化硅(白炭黑)	83SiO_2	球状	2~10	2.3	1.40~1.49	90~92	
硅藻土	$88\text{SiO}_2 \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3$	—	0.1	2.08	1.5	96	

表 1-17-3

硅质颜料的种类与性质

名 称		单 位	无水硅酸	含水硅酸	含水硅酸钙	含水硅酸铝
分 析 值	SiO ₂	(%)	≥98	80~90	55~65	60~70
	吸附水分	(%)	≤1	5~10	5~10	3~13
	灼烧减量	(%)	≤0.1	3~6	5~20	5~10
	Al ₂ O ₃	(%)	≤0.1	≤0.5	≤1	15~16
	CaO	(%)	≤0.1	≤0.5	15~20	≤1
物 理 性 质	外观		白色粉末	同左	同左	同左
	pH 值		3~7	5~11	9.5~10.5	9.5~10.5
	单粒子直径	(μm)	10~50	15~50	20~100	20~50
	BET 表面积	(m ² /g)	50~250	100~300	50~100	50~100
	真相对密度		2.1~2.2	1.5~2.1	2.1~2.2	2.0~2.1
	假相对密度(容积比重)	(g/mL)	0.15~0.25	0.2~0.3	0.25~0.35	0.25~0.35
	白度	(%)	95~99	90~99	85~95	90~98
	折射率		1.5~1.6	1.4~1.5	1.5~1.6	1.4~1.5

※5%蒸馏水悬浮液测定

(一)高岭土粒度标准

【说明】 参考表 1-17-4。

(二)高岭土粒径与制品光泽度、白度的关系

【说明】 见图 1-17-6。

表 1-17-4

高岭土粒度标准

级 别	粒 度 指 标		
	$\leq 2\mu\text{m}(\%)$	$> 10\mu\text{m}(\%)$	砂石含量(%)
1	95	0.2	0.02
2	90	0.2	0.02
3	80	0.2	0.02
4	75	0.5	0.02

(三)高岭土粒径与制品不透明度的关系

【说明】 见图 1-17-7。

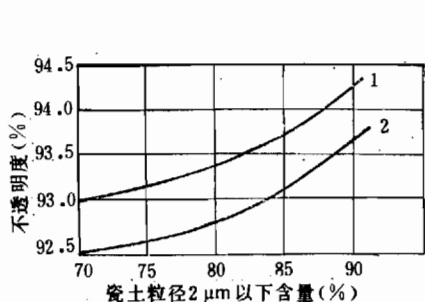


图 1-17-7 高岭土粒径与制品不透明度的关系

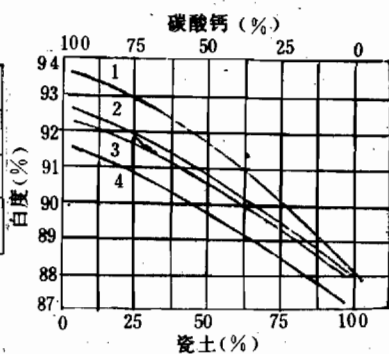


图 1-17-8 高岭土、碳酸钙不同配合比与各胶种对制品白度的影响

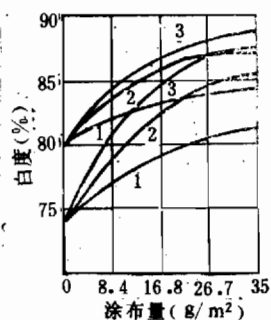


图 1-17-9 三种颜料配比的涂布量与白度的关系

1—干酪素 2—稀薄煮淀粉 3—氧化淀粉 4—大豆蛋白
1—压光前 2—压光后
1—高岭土 100% 2—高岭土 90%、TiO₂ 10% 3—高岭土 80%、TiO₂ 20%

(四)高岭土、碳酸钙不同配合比与各胶种对制品白度的关系

【说明】 见图 1-17-8。

(五)不同颜料配比的涂布量与白度的关系

【说明】 见图 1-17-9。

(六)不同配合比与各胶种对光泽度的关系

【说明】 见图 1-17-10。

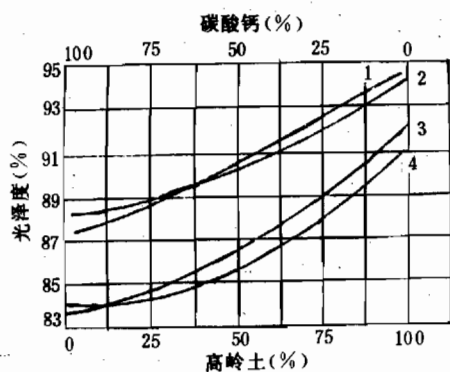


图 1-17-10 高岭土、碳酸钙各配合比与使用各胶种对制品光泽度的关系

1—干酪素 2—大豆蛋白 3—氧化淀粉 4—稀薄煮淀粉

表 1-17-5

干酪素代表性溶解配比

原料名称	规格	配比(份)			作用
		1#	2#	3#	
干酪素	精一级	100	100	100	粘合剂
水		400	400	400	后溶剂
氨水	相对密度 0.91	12	6	—	溶解剂
硼砂	100%计	—	7.5	—	溶解剂
氢氧化钠	100%计	—	—	3	溶解剂
磷酸三钠	100%计	—	—	6	溶解剂
保险粉	100%计	0~0.5	0~0.5	0~0.5	漂白、降粘剂
尿素	工业	0~10	0~10	0~10	流动、润滑剂
指标					

三、粘合剂的性质及对

制品性能的影响

【说明】 印刷涂布纸用的粘合剂,在高级纸中以干酪素与合成胶乳为主;中级纸使用干酪素、豆酪素、变性淀粉与合成胶乳;纸机涂布则以变性淀粉、合成胶乳使用较多,近来正向合成粘合剂为主体的方向发展。溶解干酪素的原料代表性配比见表 1-17-5 和表 1-17-6;干酪素溶解剂用量及其胶液性质见表 1-17-7。

续表

原料名称	规格	配比(份)			作 用
		1#	2#	3#	
含胶量	%	20	20	20	
pH 值		8~9	7.5~8.5	8~9	

表 1-17-6

溶解干酪素参考配比

原料名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
干酪素	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
氨水(比重 0.91)	12~14	10	6~7			8		6	7.5	
硼砂		5		15						
氢氧化钠					4		2.5		2.5	
碳酸钠						8				
磷酸三钠			6~7				6			4~15
乙二胺								4		
水	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

表 1-17-7

干酪素溶解剂用量及其胶液性质

溶解剂名称	中性胶液 理论用量 (%)	工厂实 际用量 (%)	胶 液 性 质	
			优 点	缺 点
NaOH	3.5	4~6	胶液粘度低,成膜性好,溶解快,膜强度很高,膜伸长率也大	易腐败,抗水性差,水解发黑时膜脆硬
NH ₄ OH (相对密度 0.91)	5.9	10~12	溶解快,粘度低,胶膜耐水较好,光泽好,粘着力强	有刺激性臭味,易腐败,膜强度较 NaOH 差,操作时有刺激性臭味
Na ₂ CO ₃	4.6	6~8	pH10 以下时粘度较低,但不如 NaOH 和 NH ₄ OH 溶解快	抗水性较差,溶解时易产生泡沫,涂布整饰性较差,极易腐败,膜强度差
Na ₄ B ₂ O ₇ · 10H ₂ O	14.7	15~16	有防腐作用,成膜性好,膜强度比 NH ₄ OH 好	溶解较慢,粘着力较差
Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O	12.3	12~14	pH7.5 以下时粘度低,与高岭土分散液混合后粘度低,胶膜伸长率高	涂布整饰性较差,胶膜略带多孔性,膜强度较低,pH8 以上粘度高,易腐败

四、加工纸涂液量的计算

【说明】涂液量的计算以测试样品规格为 96in² 作基准。单位是国外造纸工业常用的 Ib/1000ft²。

【公式】

$$G = \frac{G_1}{F} \times \frac{144}{454} \times 1000 \quad (1-17-1)$$

式中 G ——涂液量(Ib/1000ft²)

G_1 —— 纸样含湿涂液量(g)

F —— 涂布面积(in²)

第二节 复合类加工纸挤出机的生产率(流量)的计算

【说明】 挤压复合工艺过程是将聚乙烯等热塑树脂,从挤出机扁平机头的狭缝中挤出熔融状树脂薄膜,并立即通过双辊将熔融状薄膜压在纸、布、铝箔等基材表面上,冷却制成各种复合材料。单螺杆挤出机基本参数见表 1-17-8;挤出机的生产率(流量)的计算下式。

【公式】

$$Q = Q_D - Q_P - Q_L \quad (1-17-2)$$

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 n h \sin \Phi \cos \Phi}{2} - \frac{\pi D h^3 \sin^2 \Phi P}{12 \mu_1 L} - \frac{\pi^2 D^2 E \delta^3 \operatorname{tg} \Phi P}{2 \mu_2 e L} \quad (1-17-3)$$

表 1-17-8

单螺杆挤出机基本参数

螺杆直径 (mm)	螺杆转速 (r/min)	长径比	产量(kg/h)		电动机功率 (kW)	加热段数 (机身) ≥	加热功率 (机身) (kW)	中心高 (mm)
			硬聚氯 乙 烯	软聚氯 乙 烯				
30	20~120	15				2	3	1000
		20	2~6	2~6	3/1	3	4	
		25				4	5	
45	17~102	15				2	5	1000
		20	7~18	7~18	5/1.67	3	6	
		25				4	7	
65	15~90	15				3	10	1000
		20	15~33	16~50	15/5	3	12	
		25				4	16	
90	12~72	15				3	18	1000
		20	35~70	40~100	22/7.3	4	24	
		25				5	30	
120	8~48	15				3	30	1100
		20	56~112	70~160	55/18.3	4	40	
		25				5	45	
150	7~42	15				4	45	1100
		20	95~190	120~280	75/25	5	60	
		25				6	72	
200	5~30	15				5	75	1100
		20	160~320	200~480	100/33.3	6	100	
		25				7	125	

式中 Q —— 体积流量(cm³/s)

Q_D —— 正流量(cm³/s)

$$Q_D = \frac{\pi^2 D^2 n h \sin \Phi \cos \Phi}{2} \quad (1-17-4)$$

D —— 螺杆外径(cm)
 n —— 螺杆转速(r/min)
 h —— 计量段螺槽深(cm)
 Φ —— 螺旋角(度)
 Q_P —— 逆流量(cm^3/s)

$$Q_P = \frac{\pi D h^3 \sin^2 \Phi P}{12 \mu_1 L} \quad (1-17-5)$$

P —— 螺杆计量段末端物料压力(kg/cm^2)
 μ —— 螺槽中熔融物料粘度($\text{kg} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)
 L —— 螺杆计量段长度(cm)
 Q_L —— 漏流量(cm^3/s)

$$Q_L = \frac{\pi^2 D^2 E \delta^2 \text{tg} \Phi P}{12 \mu_2 e L} \quad (1-17-6)$$

E —— 螺杆偏心距校核因数,通常取 1.2
 δ —— 螺杆与机筒间隙(cm)
 e —— 螺筋宽度(cm)
 μ_2 —— 间隙中熔融物料粘度($\text{kg} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)

【讨论】 ①挤出量 Q 与螺杆直径平方成正比,即:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad (1-17-7)$$

② δ 值一般较小,式 1-17-2 中第三项漏流量 Q_L 可忽略不计,因此,公式可简化为:

$$Q = A \cdot n - B \frac{P}{\mu_1} \quad (1-17-8)$$

式中 A, B —— 螺杆结构尺寸常数,可由式 1-17-3 相对应的参数求得

$$B = \frac{\pi D h^3 \sin^2 \Phi}{12 L} \quad (1-17-9)$$

③当过滤板、过滤网、机头均未装上时,机头压力为零,挤出量即为挤出机的最大流量

Q_{\max}

$$Q_{\max} = \frac{\pi^2 D^2 h \sin \Phi \cos \Phi}{2} n \quad (1-17-9)$$

④当 $Q = 0$, 则 $Q_D = Q_P$, 可计算在螺杆末端的最高压力 P_{\max}

$$P_{\max} = \frac{6 \pi \mu_1 L D}{h^2 \text{tg} \Phi} n \quad (1-17-10)$$

⑤对挤出机各部件进行强度计算时,一般取机头压力为:

$$P = 350 \times 1.125 \times \frac{\pi D^2}{4} (\text{kgf}/\text{cm}^2) \quad (1-17-11)$$

⑥物料在机头的流动方程式:

$$Q = K \frac{\Delta P}{4} \quad (\text{cm}^3/\text{s}) \quad (1-17-12)$$

式中 ΔP —— 物料通过机头的压力降(kgf/cm^2) $\Delta P \approx P$

μ —— 物料在机头处的粘度($\text{kg} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)

K ——机头阻力系数,与机头形状有关,对圆形机头:

$$K = \frac{\pi D_1^4}{7.8(L_1 + D_1)} \quad (1-17-13)$$

对狭缝状机头:

$$K = \frac{1.4Wt^3}{L_1} \quad (1-17-14)$$

对圆管状机头:

$$K = \frac{1.4mt^3}{L_1} \quad (1-17-15)$$

D_1 ——圆筒直径(cm)

L_1 ——平直部分长度(cm)

W ——狭缝宽度(cm)

t ——狭缝厚度或圆管厚度(cm)

m ——管平均周长(cm)

第三节 黑白照像纸乳剂涂布的厚度计算

【说明】乳剂涂布的厚度与涂布量等因素的关系可用下面的经验公式估算。

【公式】

$$h = \frac{0.94(\mu V)^{2/3}}{(1 + \cos\alpha)^{1/2} \rho^{1/2} \delta / 6} \quad (1-17-16)$$

式中 h ——涂布乳剂层的湿厚度(cm)

V ——片基运行速度,即涂布车速(cm/s)

μ ——乳剂粘度(cP)

δ ——乳剂的表面张力(dyn/cm)

ρ ——乳剂的比重

α ——片基等乳剂面的拉出角(度)

第四节 内燃机用滤纸的最大孔径的测定计算

【说明】内燃机用纸可分为柴油、机油及空气过滤三种类型,简称三滤纸。一般用硫酸盐木浆制成原纸,经热固性树脂浸渍而成。滤纸的最大孔径可用最大微孔测定仪(附压缩空气泵)测定,计算见下式。

【公式】

$$d = 2r = \frac{4T}{g(h_1 - \rho h_2)} \times 10^4 \quad (1-17-17)$$

式中 d ——最大孔径(μm)

r ——最大孔径的半径(μm)

g ——重力加速度(9.81m/s^2)

T ——在温度 $T^\circ\text{C}$ 时,异丙醇的表面张力(dyn/cm)

h_1 ——U型管中水柱的平均压力差(mH_2O)

ρ —— 在温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时, 异丙醇的密度 (g/cm^3)

h_2 —— 罩帽中异丙醇的高度 (cm)

第五节 变性加工纸的工艺计算

一、钢纸的工艺计算

(一) 钢纸原纸卷取层数的计算

【公式】

$$N = \frac{M_1}{M_2(1-T)} \quad (1-17-18)$$

$$\text{或} \quad N = 1.5 \frac{M_1}{M_2} \text{ (估算式)} \quad (1-17-19)$$

式中 N —— 钢纸原纸在成形烘缸上卷取的层数

M_1 —— 成品钢纸厚度 (mm)

M_2 —— 钢纸原纸厚度 (mm)

T —— 厚度的变动范围 ($\%$), 一般在 $40 \sim 50\%$ (其中包括钢纸压光后减少的厚度)。

变动关系为: 氯化锌液相对密度上升, 原纸吸收性增大, T 值增大, 反之则减少。

(二) 钢纸原纸定量与浸渍时间的关系

【说明】 一般情况下, 原纸的定量高, 浸渍时间长, 反之则短; 原纸的吸水性大, 浸渍时间短, 反之则长; 氯化锌溶液的相对密度大, 则浸渍时间长, 反之则短; 温度高, 浸渍时间短, 反之则长。钢纸原纸定量与浸渍时间的关系参考图 1-17-11。

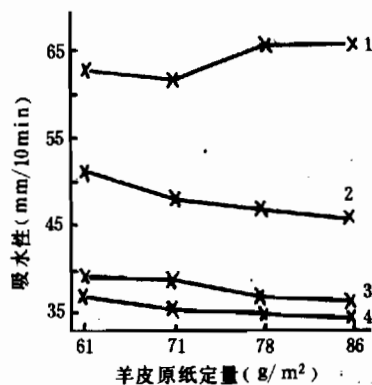
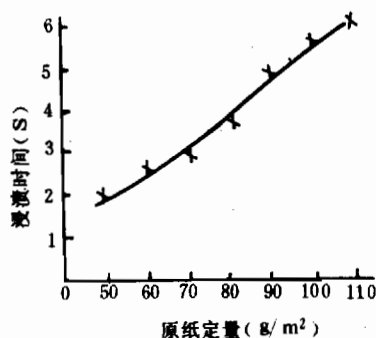


图1-17-11 原纸定量与浸渍时间的关系举例 图1-17-12 羊皮原纸定量、打浆度与吸水性的关系

1—24.5°SR 2—32°SR 3—44°SR 4—50°SR

(三) 碾压烘缸线压力的计算

【说明】 碾压烘缸的线压力一般为 $1.2 \sim 1.5 \text{ kg}/\text{mm}$ 为宜, 其计算见下式。

【公式】

$$q = \frac{Q}{b} \quad (1-17-20)$$

式中 q —— 两烘缸接触线压力(kg/mm)
 b —— 烘缸有效宽度(mm)
 Q —— 成型烘缸反作用力(kg)

$$Q = \frac{G \pm P}{\cos \alpha} \quad (1-17-21)$$

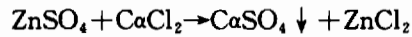
G —— 碾压烘缸自重(kg)
 P —— 加压或减压的压力值, 加压时为正值, 减压时为负值(kg)
 α —— 两烘缸的偏心角(度)

(四) 氯化锌溶液回收与净化的计算

【说明】 氯化锌溶液中杂质含量超过以下数值时需进行净化。含铁量 $\geq 0.042\%$, 含钙量 $\geq 0.4\%$, 含铜量 $\geq 0.025\%$ 。

1. 除钙所需硫酸锌加入量的计算

【说明】 硫酸锌除钙的反应式为:



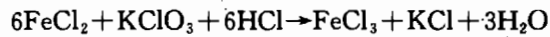
【公式】

$$M = 4.03VG \quad (1-17-22)$$

式中 M —— 硫酸锌加入量(g)
 V —— 氯化锌容积(mL)
 G —— 每 mL 氯化锌液中含钙的毫克数(mg/mL)

2. 除铁所需氯化钾加入量

【说明】 除铁反应式为:



【公式】

$$Q = 0.364VG \quad (1-17-23)$$

式中 Q —— 氯酸钾加入量(g)
 V —— 氯化锌容积(L)
 G —— 每 mL 氯化锌液中含铁的毫克数(mg/mL)

3. 氯化锌液调节碱度所需碳酸钠的量计算

【公式】

$$N = \frac{0.00625Vdc(A - B)}{r} \quad (1-17-24)$$

式中 N —— 硫酸钙加入量(g)
 V —— 氯化锌液容积(gL)
 d —— 氯化锌液比重
 c —— 氯化锌液浓度(%)
 A —— 要求的碱度值
 B —— 调节前溶液的碱度[如是酸度时为(-B)]
 r —— 碳酸钠的纯度(%)

【附表】 氯化锌溶液的相对密度、碱度与 pH 值之间的关系见表1-17-9。

表1-17-9

氯化锌液相对密度、碱度与pH值的关系

相对密度	1.20以下	1.20~1.30	1.30以上
碱度	0.8	1.00	1.50
pH 值	0.45	4.5	4.5

二、植物羊皮纸的加工计算

(一)植物羊皮原纸制造工艺参数

1. 羊皮纸原纸定量、打浆度与吸水性的关系

【说明】 见图1-17-12。

2. 羊皮原纸紧度与吸水性的关系

【说明】 见图1-17-13。

3. 羊皮原纸打浆度与吸水性的关系

【说明】 见图1-17-14。

4. 成浆洗涤次数与吸水性的关系

【说明】 见图1-17-15。

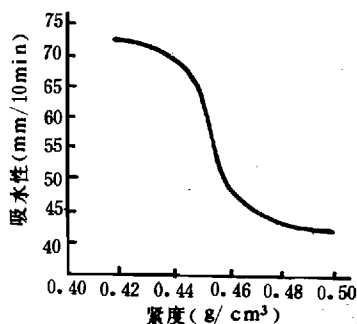


图1-17-13 羊皮原纸紧度与吸水性的关系

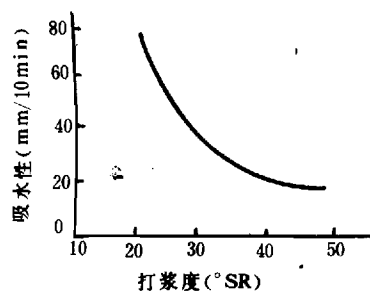


图1-17-14 羊皮原纸打浆度与吸水性的关系

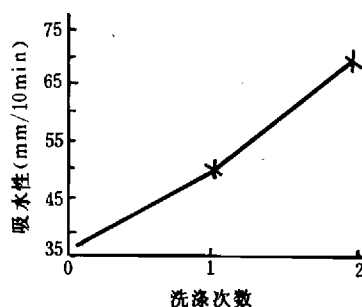


图1-17-15 成浆洗涤次数与吸水性的关系

(二)配酸与回收的计算

1. 混合酸的计算

①稀酸量的计算

【说明】 用于混合的稀酸量可按下式计算。

【公式】

$$x = \frac{b - a}{a - c} \quad (1-17-25)$$

式中 x —— 用来加到100份浓酸中(以获得 SO_3 规定含量百分率为 α 的酸)的稀酸份数

a —— 混合后所得酸的 SO_3 含量百分率(%)

b —— 用来混合的浓酸的 SO_3 含量(%)

c —— 用来混合的稀酸的 SO_3 含量(%)

②浓酸量的计算

【说明】 用来混合的浓酸量可由下式计算。

【公式】

$$Q = \frac{D(a-c)}{b-c} \quad (1-17-26)$$

$$W = D - Q \quad (1-17-27)$$

式中 Q —— 用来混合的浓酸量

D —— 混合后增浓的酸量

W —— 稀释量

其它同上

2. 酸液浓缩耗热量的计算

① 水从酸中分离时所需热量计算

【公式】

$$Q = \frac{504.2M_2}{M_2 + 0.2013} + \frac{0.714M_2(T-15)}{M_2 + 0.062} - \frac{504.2M_1}{M_1 + 0.2013} + \frac{0.714M_1(T-15)}{M_1 + 0.062} \quad (1-17-28)$$

式中 Q —— 用于相当于 1kgSO_3 的酸所需的热量(kcal)

M_1, M_2 —— 分别为强酸与弱酸中水的总重量对 SO_3 的总重量的比例

$$M_1 = \frac{100 - a_1}{a_1} \quad (1-17-29)$$

$$M_2 = \frac{100 - a_2}{a_2} \quad (1-17-30)$$

a_1, a_2 —— 分别为强酸及弱酸中 SO_3 的含量(%)

② 自酸中蒸发去水分所需的热量计算

【公式】

$$Q = 85.9 \sqrt[3]{365 - t} \quad (1-17-31)$$

式中 t —— 酸液浓缩时的温度($^{\circ}\text{C}$)

Q —— 热量(kcal)

第六节 刮刀涂布的工艺计算

一、槽式软刀刮刀涂布量的计算

【公式】

$$q = \frac{A}{Pn} \quad (1-17-32)$$

式中 q —— 涂布量(cm)

A —— 线压在 1kg/cm 下涂到纸上的涂布量(cm)

P —— 刮刀对纸的线压力(kg/cm)

n —— 常数, 当 P 变化时涂布量变化的速度

二、气垫刮刀涂布量的计算

【公式】

$$h = m \sqrt{\frac{\mu VS}{P}} \quad (1-17-33)$$

式中 h ——涂层厚度(m)

m ——经验系数

μ ——涂料粘度(Pa·s)

V ——车速(m/s)

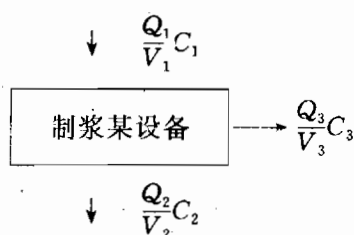
S ——刮刀与纸幅接触面积(m²)

P ——气刀气流压力(Pa)

第十八章 制浆造纸生产 过程的物料平衡计算

第一节 制浆生产过程的浆水平衡计算

【说明】 制浆过程的浆水平衡计算是以 1t 风干细浆为基准进行推算,以求出纤维原料的需求量和制浆过程各部分浆料和水的消耗及流失,为设备、容器和管线的规格设计以及其它部门提供依据。假设进、出某制浆设备的物料可用下面的方框图表示,则可列出如下的物料平衡方程式。



【公式】

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (\text{绝干纤维平衡}) \quad (1-18-1)$$

$$V_1 = V_1 + V_2 \text{ 或 } \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} \quad (\text{浆液平衡}) \quad (1-18-2)$$

$$\frac{1 - C_1}{C_1} Q_1 = \frac{1 - C_2}{C_2} Q_2 + \frac{1 - C_3}{C_3} Q_3 \quad (\text{水的平衡}) \quad (1-18-3)$$

$$C_1 = \frac{Q_2}{V_2} \quad C_2 = \frac{Q_2}{V_2} \quad C_3 = \frac{Q_3}{V_3} \quad (\text{浆水平衡}) \quad (1-18-4)$$

式中 Q_1 —— 进入制浆某设备的纤维量(kg)

Q_2 —— 自制浆某设备输出的纤维量(kg)

Q_3 —— 自制浆某设备流失的纤维量(kg)

C_1, C_2, C_3 —— 分别为进浆、出浆及流失浆料浓度(%)

V_1, V_2, V_3 —— 分别为进浆、出浆及流失浆料总量(kg 或 m^3 或 L)

【例】 现以日产 50t 供新闻纸用漂白硫酸盐木浆(不含备料)车间的浆水平衡为例,对制浆生产过程的浆水平衡计算的步骤和方法进行说明。

一、确定流程方框图

【说明】 假设制浆车间的工艺流程如图 1-18-1。

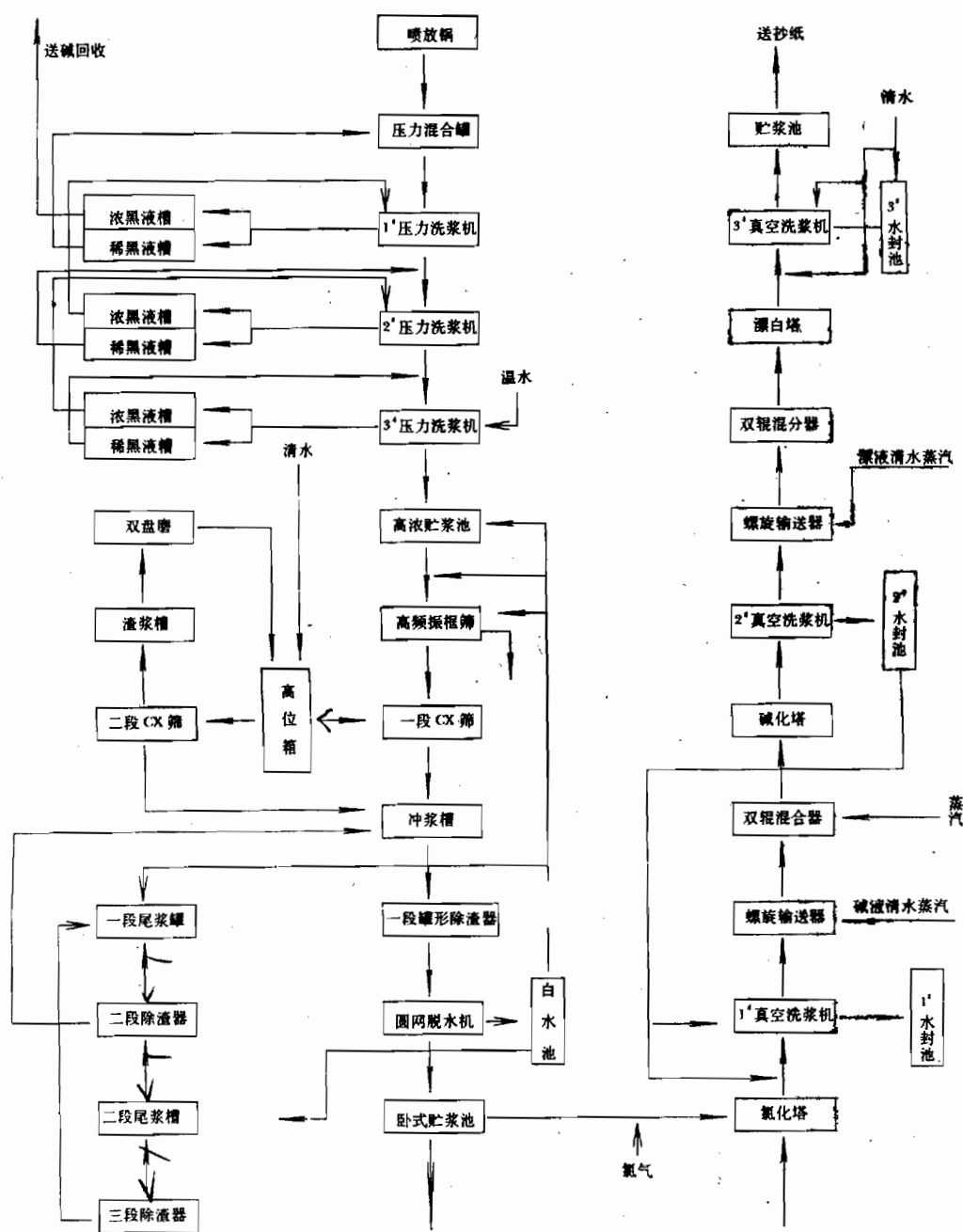


图 1-18-1 日产 50t 新闻纸漂白硫酸盐木浆流程图

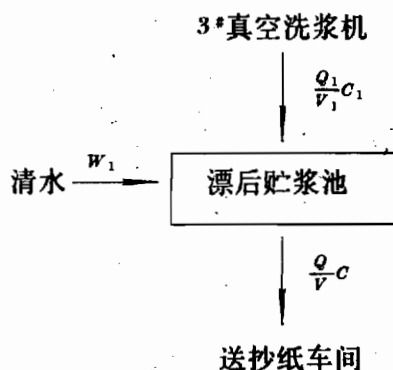
二、选定平衡计算所需的有关定额和工艺技术数据

【说明】 根据收集和确定的已知数据列成表格(此略,详细数据见计算过程中)。

三、计算步骤和方法

【说明】 计算以 1t 风干浆(水分 10%)为基准。单位:纤维为 kg、浆量为 L。

(一)漂后贮浆池平衡计算



【已知】 $Q = 900, C = 3\%, C_1 = 10\%$

【计算】 $V = \frac{Q}{C} = \frac{900}{3\%} = 3000$

$$Q_1 = Q = 900$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{900}{10\%} = 9000$$

$$W = V - V_1 = 2100$$

【说明】 在制浆生产过程中,损失率往往都是以工段来计算,这样所计算出的损失率比较符合实际。因此,在设计中物料平衡计算可分别按漂白段、筛选段、洗涤段、蒸煮段、备料段等来计算(见第五篇内容)。

(二)漂白段(连续漂白)平衡计算

【已知】 漂白总损失率 $\alpha_1 = 8\%$

进入漂白段的浆料浓度 $C_2 = 3\%$

$$\text{则进入漂白段的绝干纤维量 } Q_2 = \frac{Q}{1 - \alpha_1} = \frac{900}{1 - 8\%} = 978.2609$$

$$\text{进入漂白段的浆料量 } V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{978.2609}{3\%} = 32608.6967$$

$$\begin{aligned} \text{漂白总纤维损失量 } Q' &= Q_2 - Q = 978.2609 - 900 \\ &= 78.2609 \end{aligned}$$

1. 氯化塔的平衡计算

【已知】 $Q_2 = 978.2609$

$$V_2 = 32608.6967$$

$$C_2 = 3\%$$

【计算】 $Q_3 = Q_2 = 978.2609$

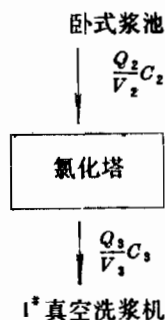
$$V_3 = V_2 = 32608.6967$$

$$C_3 = C_2 = 3\%$$

2. 1#真空洗浆机平衡计算

【已知】 $Q_3 = 978.2609, V_3 = 32608.6967$

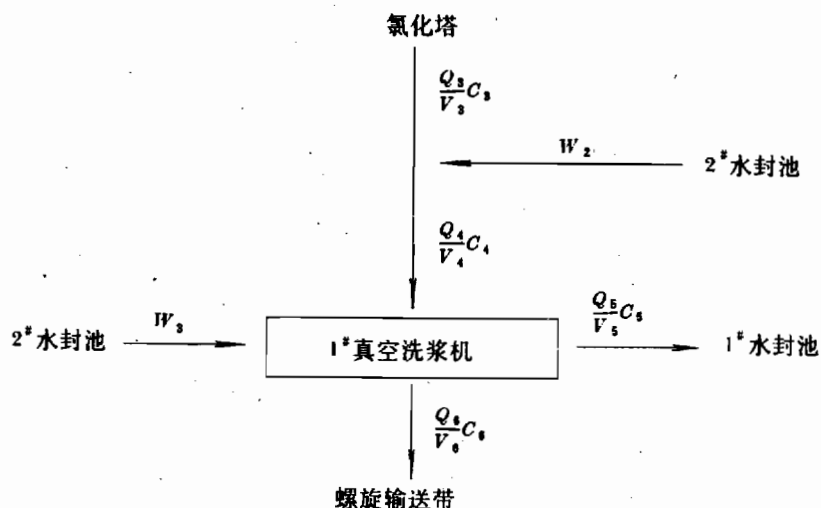
$$C_3 = 3\%, C_4 = 1.2\%$$



氯化损失率 $\alpha_2 = 2.0\%$ (以进氯化塔为基准)

洗涤损失率 $\alpha_3 = 0.5\%$ (以进氯化塔为基准)

$C_6 = 10\%, W_3 = 10000$



【计算】 $Q_4 = Q_3 = 978.2609$

$$V_4 = \frac{Q_4}{C_4} = \frac{978.2609}{1.2\%} = 81521.7417$$

$$W_2 = V_4 - V_3 = 48913.0450$$

$$Q_5 = Q_2(\alpha_2 + \alpha_3) = 978.2609(2\% + 0.5\%) = 24.4565$$

$$Q_6 = Q_4 - Q_5 = 978.2609 - 24.4565 = 953.8044$$

$$V_6 = \frac{Q_6}{C_6} = 9538.0440$$

$$V_5 = V_4 + V_3 - V_6 = 81983.6977$$

$$C_5 = \frac{Q_5}{V_5} = 0.02983\%$$

3. 螺旋输送器的平衡计算

【已知】 $Q_6 = 953.8044$

$$V_6 = 9538.0440$$

$$C_7 = 8\%$$

【计算】 $Q_7 = Q_6 = 953.8044$

$$V_7 = \frac{Q_7}{C_7} = \frac{953.8044}{8\%} = 11922.5550$$

$$W_4 = V_7 - V_6 = 2384.5110$$

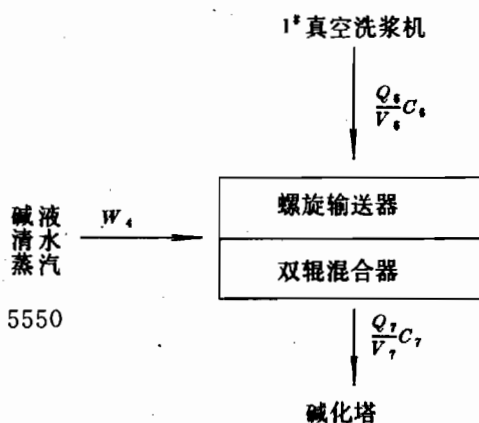
W_4 包括以下三部分:

① 加热蒸汽冷凝水: 设为 900

② 碱液: 设碱耗 1.5% (对绝干浆), 碱浓度为 20g/L, 则:

$$\text{碱液量} = \frac{Q_7 \times 1.5\%}{20/1000} = \frac{953.80 \times 1.5\%}{20/1000} = 715.3533$$

③ 水: 加水量 = $W_4 - 900 - 715.3533 = 769.1577$



4. 碱化塔平衡计算

【已知】 $Q_7 = 953.8044$

$$V_7 = 11922.5550$$

$$C_7 = 8\%$$

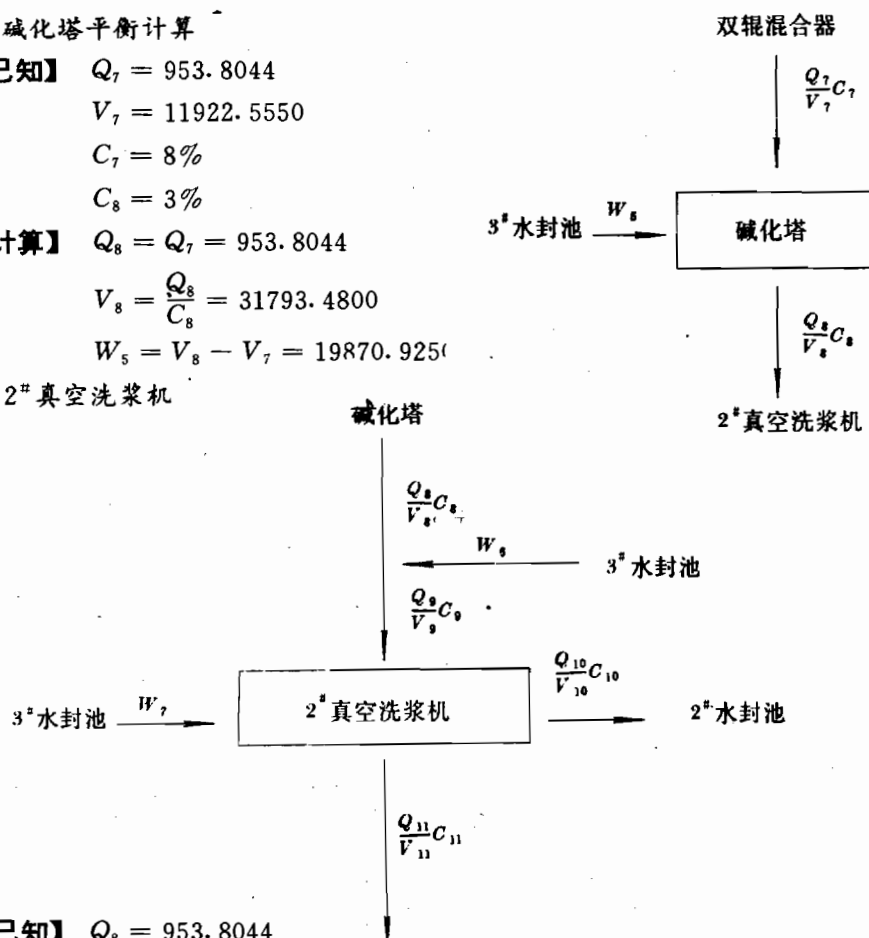
$$C_8 = 3\%$$

【计算】 $Q_8 = Q_7 = 953.8044$

$$V_8 = \frac{Q_8}{C_8} = 31793.4800$$

$$W_5 = V_8 - V_7 = 19870.9250$$

5. 2[#]真空洗浆机



【已知】 $Q_8 = 953.8044$

$$V_8 = 31793.4800 \text{ 螺旋输送机}$$

$$C_8 = 3\%, C_9 = 1.2\%, C_{11} = 10\%$$

$$W_7 = 10000$$

碱处理损失 $\alpha_4 = 3.5\%$ (以进氯化塔纤维量为基准)

洗涤损失率 $\alpha_5 = 0.5\%$ (以进氯化塔纤维量为基准)

【计算】 $Q_9 = Q_8 = 953.8044$

$$V_9 = \frac{Q_9}{C_9} = 79483.7000$$

$$W_6 = V_9 - V_8 = 47690.2200$$

$$Q_{10} = Q_2(\alpha_4 + \alpha_5) = 978.2609 \times (3.5\% + 0.5\%) = 39.1304$$

$$Q_{11} = Q_9 - Q_{10} = 914.6740$$

$$V_{11} = \frac{Q_{11}}{C_{11}} = 9146.7400$$

$$V_{10} = V_9 + W_7 - V_{11} = 80336.9600$$

$$C_{10} = \frac{Q_{10}}{V_{10}} = 0.04871\%$$

6. 螺旋输送机平衡计算

【已知】 $Q_{11} = 914.6740$

$$V_{11} = 9146.7400$$

$$C_{12} = 8\%$$

【计算】 $Q_{12} = Q_{11} = 914.6740$

$$V_{12} = \frac{Q_{12}}{C_{12}} = 11433.4250$$

$$W_8 = V_{12} - V_{11} = 2286.6850$$

W_8 包括以下三部分:

①漂液:设氯耗 2.5%,漂液浓度为 20g/L,则:

$$\text{加漂液量} = \frac{914.6740 \times 2.5\%}{20/1000} = 1143.3425$$

②加水量 = $2286.6850 - 600 - 1143.3425 = 543.3425$

7. 漂白塔平衡计算

【已知】 $Q_{12} = 914.6740$

$$V_{12} = 11433.4250$$

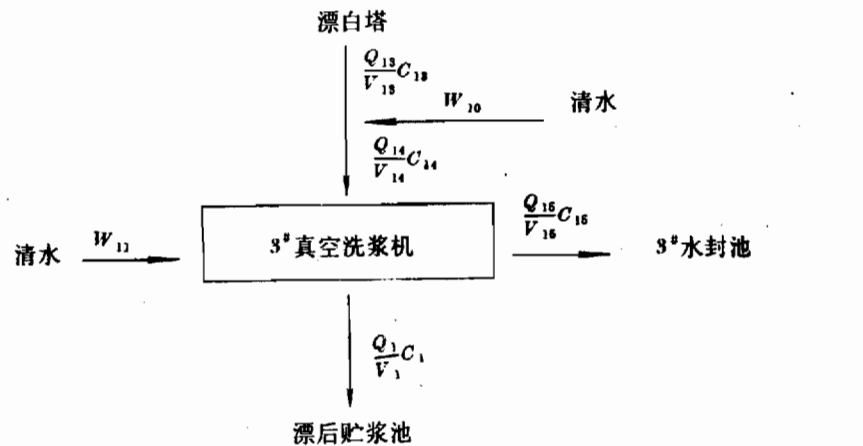
$$C_{13} = 3\%$$

【计算】 $Q_{13} = Q_{12} = 914.6740$

$$V_{13} = \frac{Q_{13}}{C_{13}} = 30489.1333$$

$$W_9 = V_{13} - V_{12} = 19055.7083$$

8. 3^号真空洗浆机



【已知】 $Q_{13} = 914.6740$

$$V_{13} = 30489.1333$$

$$C_{14} = 1.2\%$$

$$C_1 = 10\%$$

$$W_{11} = 1000$$

漂白损失率 $\alpha_6 = 1.0\%$ (对进氯化塔纤维量)

洗涤损失率 $\alpha_7 = 0.5\%$ (对进氯化塔纤维量)

【计算】 $Q_{14} = Q_{13} = 914.6740$

$$V_{14} = \frac{Q_{14}}{C_{14}} = 76222.8333$$

$$W_{10} = V_{14} - V_{13} = 45733.7000$$

$$Q_{15} = Q_2(a_6 + a_7) = 978.2609 \times (1\% + 0.5\%) = 14.6740$$

$$Q_1 = Q_{14} - Q_{15} = 900.0000$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = 9000.000$$

$$V_{15} = W_{11} + V_{14} - V_1 = 77222.8333$$

$$C_{15} = \frac{Q_{15}}{V_{15}} = 0.0190\%$$

(三) 筛选段平衡计算

【已知】 筛选总损失率 $\alpha_8 = 2.0\%$ (以进一段 CX 筛浆量为基准)

一段 CX 筛进浆浓度 $C_{16} = 1.0\%$

进一段 CX 筛绝干纤维量:

$$Q_{16} = \frac{Q_2}{1 - \alpha_8} = \frac{978.2609}{1 - 2.0\%} = 998.2254$$

进一段 CX 筛浆料量:

$$V_{16} = \frac{Q_{16}}{1 - C_{16}} = \frac{998.2254}{1.0\%} = 99822.5400$$

筛选段总损失量:

$$Q^{11} = Q_{16} - Q_2 = 998.2254 - 978.2609 = 19.9645$$

1. 一段 CX 筛平衡计算

【已知】 $C_{16} = 1.0\%$

$$Q_{16} = 998.2254$$

$$V_{16} = 99822.54$$

$$C_{17} = 2.0\%$$

$$C_{18} = 0.8\%$$

一段 CX 筛尾浆率 $\alpha_9 = 10\%$

【计算】 $Q_{17} = Q_{16}\alpha_9 = 99.8225$

$$V_{17} = \frac{Q_{17}}{C_{17}} = 4991.1250$$

$$Q_{18} = Q_{16} - Q_{17} = 898.4029$$

$$V_{18} = \frac{Q_{18}}{C_{18}} = 112300.3625$$

$$W_{12} = V_{18} + V_{17} - V_{16} = 17468.9475$$

2. 高位箱平衡

【已知】 $C_{17} = 2.0\%$

$$Q_{17} = 99.8225$$

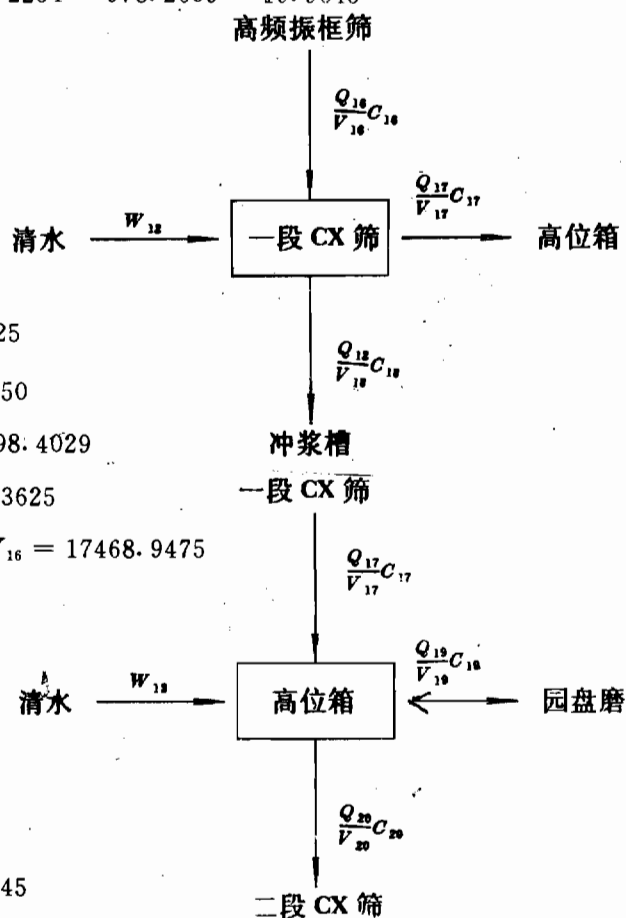
$$V_{17} = 4991.1250$$

$$C_{20} = 1.0\%$$

二段 CX 筛排渣率 $\alpha_{10} = 2.0\%$

(对一段 CX 筛进浆量) $C_{19} = 2.5\%$

【计算】 $Q_{19} = Q_{16}\alpha_{10} = 19.9645$



$$V_{19} = \frac{Q_{19}}{C_{19}} = 798.5800$$

$$Q_{20} = Q_{17} + Q_{19} = 119.7870$$

$$V_{20} = \frac{Q_{20}}{C_{20}} = 11978.7000$$

$$W_{13} = V_{20} - V_{19} - V_{17} = 6188.9950$$

3. 二段 CX 筛平衡

【已知】 $C_{21} = 2.5\%$

$$Q_{20} = 119.7870$$

$$V_{20} = 11978.7000$$

$$Q_{21} = Q_{19} = 19.9645$$

$$V_{21} = V_{19} = 798.5800$$

$$C_{22} = 0.8\%$$

【计算】 $Q_{22} = Q_{20} - Q_{21} = 99.8225$

$$V_{22} = \frac{Q_{22}}{C_{22}} = 12477.8125$$

$$W_{14} = V_{22} + V_{21} - V_{20} = 1297.6925$$

4. 浆渣槽、圆盘磨平衡

【已知】 $C_{21} = C_{19} = 2.5\%$

$$Q_{21} = 19.9645$$

$$V_{21} = 798.5800$$

$$Q_{19} = 19.9645$$

$$V_{19} = 798.5800$$

【计算】 $Q_{19} = Q_{21} = 19.9645$

$$V_{19} = V_{21} = 798.5800$$

5. 一段除砂器、圆网脱水机平衡

【已知】 $Q_2 = 978.2609$

$$V_2 = 32608.6967$$

圆网脱水机纤维损失率 $\alpha_{11} = 0.5\%$

(对进一段 CX 筛浆量)

一段锥形除砂器排渣率 $\alpha_{12} = 25\%$

$$C_{23} = 0.6\%, \quad C_{24} = 2.5\%$$

圆网脱水机喷水 $W_{15} = 5440$

【计算】 $Q_{25} = Q_{16}\alpha_{11} = 4.9911$

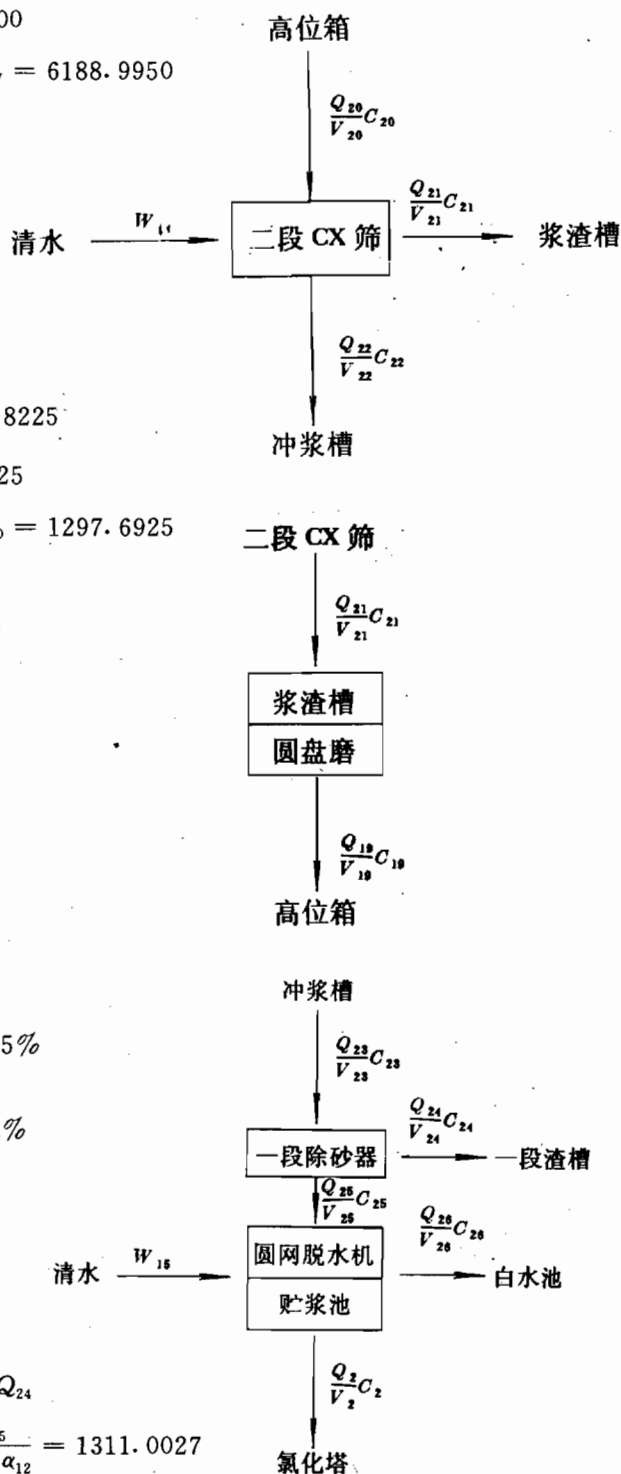
$$Q_{25} = Q_{26} + Q_2$$

$$= 983.2520$$

由于 $Q_{24} = Q_{23}\alpha_{12}, Q_{23} = Q_{25} + Q_{24}$

$$\text{所以 } Q_{23} = Q_{25} + Q_{23}\alpha_{12} = \frac{Q_{25}}{1 - \alpha_{12}} = 1311.0027$$

$$V_{23} = \frac{Q_{23}}{C_{23}} = 218500.4500$$



$$Q_{24} = Q_{23}\alpha_{12} = 327.7507$$

$$V_{24} = \frac{Q_{24}}{C_{24}} = 13110.0280$$

$$V_{25} = V_{23} - V_{24} = 205390.4220$$

$$C_{25} = \frac{Q_{25}}{V_{25}} = 0.4787\%$$

$$V_{26} = V_{25} + W_{15} - V_2 = 178221.7253$$

$$C_{26} = \frac{Q_{26}}{V_{26}} = 0.0028\%$$

6. 除砂器组平衡

【已知】 $Q_{24} = 327.7507$

$$V_{24} = 13110.0280$$

$$C_{27} = 0.6\%$$

$$C_{28} = 2.5\%$$

$$C_{29} = 0.6\%$$

$$C_{30} = 3.0\%$$

二段除砂器排渣率 $\alpha_{13} = 27\%$

(对进一段 CX 筛的浆量)

三段除砂器排渣率 $\alpha_{14} = 1.5\%$

(对进一段 CX 筛的浆量)

【计算】 $Q_{30} = Q_{15}\alpha_{14} = 14.9734$

$$V_{30} = \frac{Q_{30}}{C_{30}} = 499.1133$$

$$Q_{24} = Q_{30} + Q_{32}, Q_{32} = Q_{24} - Q_{30} = 312.7773$$

$$\text{由于 } Q_{28} = Q_{27}\alpha_{13}, Q_{27} = Q_{32} + Q_{28}$$

$$\text{所以 } Q_{27} = Q_{32} + Q_{27}\alpha_{13} = \frac{Q_{12}}{1 - \alpha_{13}} = 428.4621$$

$$V_{27} = \frac{Q_{27}}{C_{27}} = 71410.3500$$

$$Q_{28} = Q_{27} - Q_{32} = 115.5848$$

$$V_{28} = \frac{Q_{28}}{C_{28}} = 4627.3920$$

$$V_{32} = V_{27} - V_{28} = 66782.9580$$

$$C_{32} = \frac{Q_{32}}{V_{32}} = 0.4683\%$$

$$Q_{31} = Q_{27} - Q_{24} = 100.7114$$

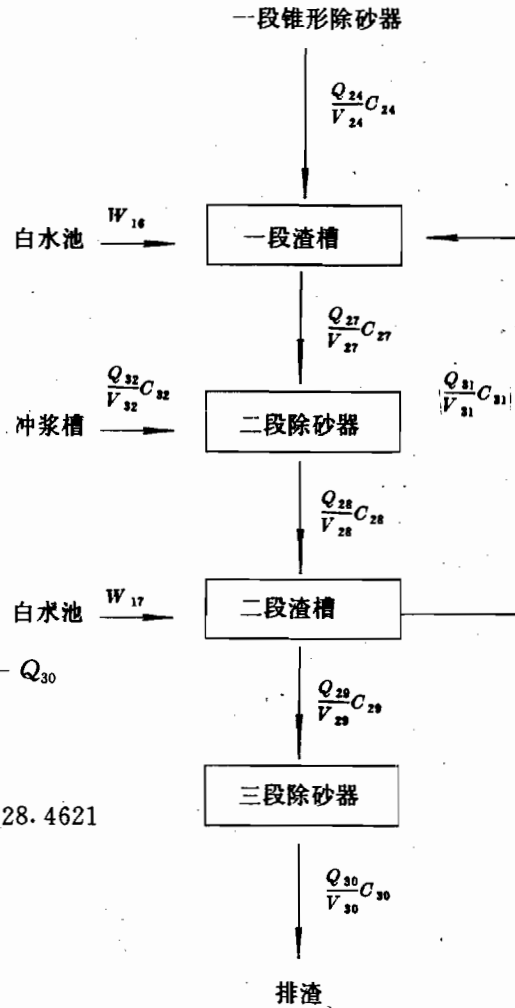
$$Q_{29} = Q_{28} = 115.6848, V_{29} = \frac{Q_{29}}{C_{29}} = 19280.8000$$

$$V_{31} = V_{29} - V_{30} = 18781.6867$$

$$C_{31} = \frac{Q_{31}}{V_{31}} = 0.5362\%$$

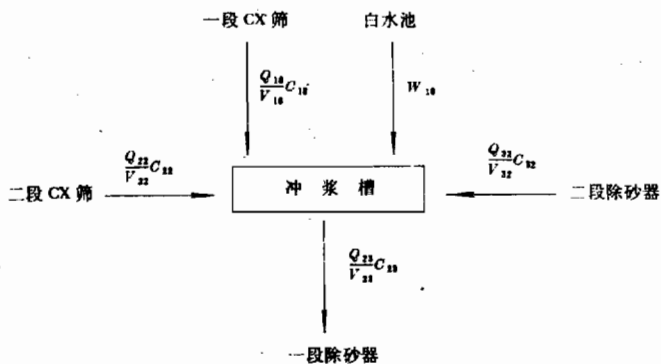
$$W_{16} = V_{27} - V_{24} - V_{31} = 39518.6353$$

$$W_{17} = V_{29} - V_{28} = 14653.4080$$



7. 冲浆槽平衡

【已知】 $Q_{23} = 1311.0027$
 $V_{23} = 218500.4500$
 $Q_{32} = 312.7773$
 $V_{32} = 66782.9580$
 $Q_{18} = 898.4029$
 $V_{18} = 112300.3625$
 $Q_{22} = 99.8225$
 $V_{22} = 12477.8125$



【计算】 $W_{18} = V_{23} - V_{32} - V_{18} - V_{22} = 26939.3170$

(四) 洗涤段平衡计算

1. 高频振框筛平衡

【已知】 $C_{35} = 3.0\%$
 $C_{34} = 1.2\%$
 $C_{33} = 15\%$
 $Q_{16} = 998.2254$
 $V_{16} = 99822.5400$
排渣率 $\alpha_{15} = 4\%$

【计算】 由于 $Q_{33} = Q_{34}\alpha_{15}$,

$$Q_{34} = Q_{33} + Q_{16}$$

所以 $Q_{34} = \frac{Q_{16}}{1 - \alpha_{15}} = 1039.8181$

$$V_{34} = \frac{Q_{34}}{C_{34}} = 86651.5083$$

$$Q_{35} = Q_{34} = 1039.8181$$

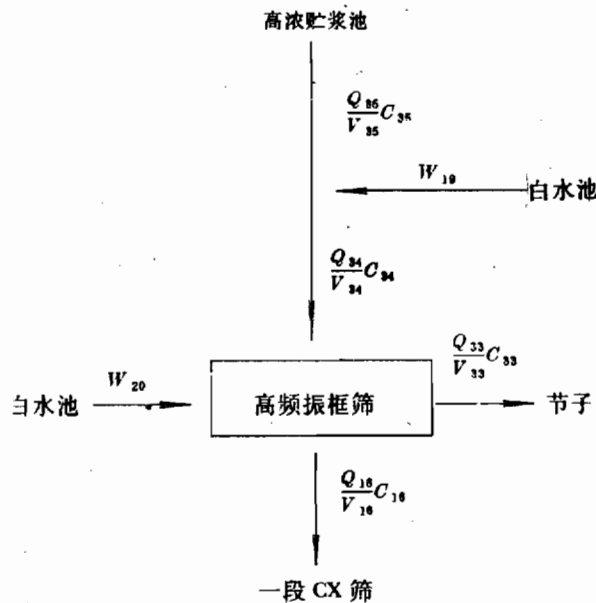
$$V_{35} = \frac{Q_{35}}{C_{35}} = 34660.6033$$

$$W_{19} = V_{34} - V_{35} = 51990.9050$$

$$Q_{33} = Q_{34}\alpha_{15} = 41.5927$$

$$V_{33} = \frac{Q_{33}}{C_{33}} = 277.2847$$

$$W_{20} = V_{16} + V_{33} - V_{34} = 13448.3164$$



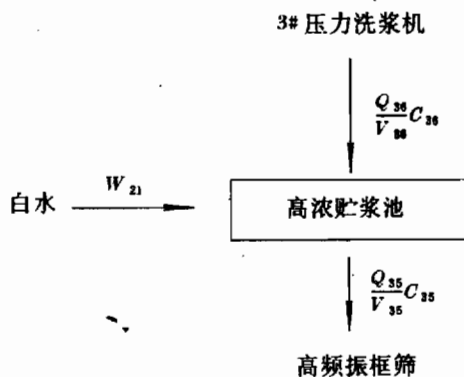
2. 高浓贮浆池平衡

【已知】 $Q_{35} = 1039.8181$
 $V_{35} = 34660.6033$
 $C_{36} = 12\%$

【计算】 $Q_{36} = Q_{35} = 1039.8181$

$$V_{36} = \frac{Q_{36}}{C_{36}} = 8665.1508$$

$$W_{21} = V_{35} - V_{36} = 25995.4525$$



3. 2#、3# 压力洗浆机平衡计算

【已知】 $C_{36} = 12\%$
 $C_{37} = 1.2\%$
 $C_{38} = 12\%$
 $Q_{36} = 1039.8181$
 $V_{36} = 8665.1508$
 $W_{22} = 10000$

【计算】 压力洗浆机一般是一级二段，因此从一台洗浆机排出的黑液有浓稀之分，稀黑液用于本机前稀释浆料，浓黑液作上一台压力洗浆机的喷水，即为逆流洗涤。

$$Q_{38} = Q_{37} = Q_{36} = 1039.8181$$

$$V_{38} = \frac{Q_{38}}{C_{38}} = 8665.1508$$

$$V_{37} = \frac{Q_{37}}{C_{37}} = 86651.5080$$

$$W_{24} = V_{37} - V_{38} = 77986.3572$$

$$W_{25} = V_{37} + W_{22} - V_{36} = 87986.3572$$

$$W_{23} = W_{25} - W_{24} = 10000$$

4.1^号 压力洗浆机平衡计算

【已知】 $Q_{38} = 1039.8181$
 $V_{38} = 8665.1508$
纤维损失率 $\alpha_{16} = 0.2\%$
 $W_{23} = 10000$
 $C_{39} = 1.2\%$

【计算】 V_{40} 为 1^号 压力洗浆机的黑液，其中浓黑液送碱回收，稀黑液送蒸煮锅、喷放锅和压力混合罐。

因为 $Q_{40} = A_{39}\alpha_{16}$, $Q_{39} = Q_{38} + Q_{40}$

所以 $Q_{39} = \frac{Q_{38}}{1 - \alpha_{16}} = 1041.9019$

$$V_{39} = \frac{Q_{39}}{C_{39}} = 86825.1583$$

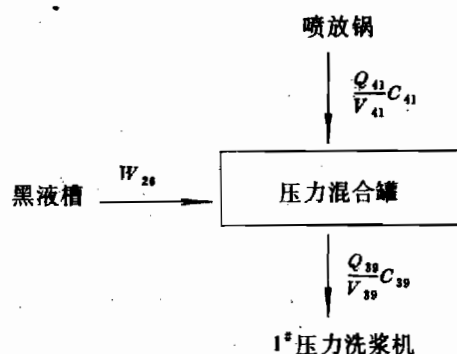
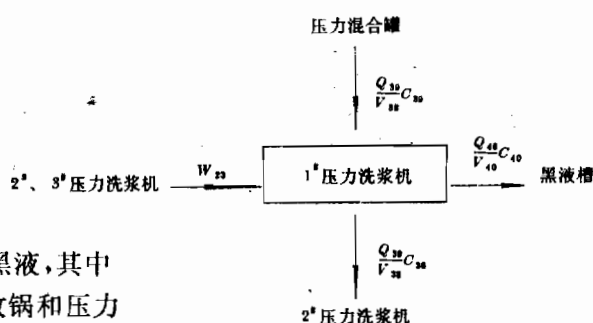
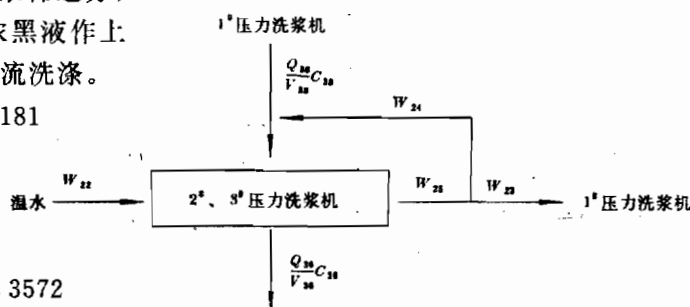
$$Q_{40} = Q_{39}\alpha_{16} = 2.0838$$

$$V_{40} = V_{39} + W_{23} - V_{38} = 88160.0075$$

5. 压力混合罐平衡计算

【已知】 $Q_{39} = 1041.9019$
 $V_{39} = 86825.1583$
 $C_{41} = 3\%$

【计算】 $Q_{41} = Q_{39} = 1041.9019$
 $V_{41} = \frac{Q_{41}}{C_{41}} = 34730.0633$



$$W_{26} = V_{39} - V_{41} = 52095.0950$$

(五) 蒸煮工段平衡计算

【已知】 $Q_{33} = 41.5927, V_{33} = 277.2847$

$$Q_{41} = 1041.9019, V_{41} = 34730.0633$$

$C_{43} = 60\%$ (木片水分 40%), 蒸煮得率 45%

用碱量 20%, 碱液浓度 90g/L

100kg 绝干木片在小放汽时放出 90kg 蒸汽, 20kg 易挥发物; 放出碱液为总液量的 1%; 液比 1:3.5; 装锅用蒸汽 0.15t/t 绝干粗浆; 喷放时每吨风干粗浆闪蒸汽量为 0.952t

【计算】 $Q_{42} = Q_{41} = 1041.9019$

$$Q_{43} = \frac{Q_{42}}{\text{蒸煮得率}} - Q_{33} = 2273.7449$$

$$V_{43} = \frac{Q_{43}}{C_{43}} = 3189.5748$$

$$\text{木片水分} = V_{43} - Q_{43} = 1515.8299$$

$$\text{蒸煮总液量} = (Q_{43} + Q_{33}) \times \text{液比} = 8103.6813$$

$$\text{蒸煮用碱总量} = (Q_{43} + Q_{33}) \times \text{用碱量} = 463.0675$$

$$\text{蒸煮用碱液量 } W_{30} = \frac{\text{用碱总量}}{\text{碱液浓度}} = \frac{463.0675}{90/1000} = 5145.1944$$

$$\text{装锅蒸汽量 } W_{29} = 0.15 \times \frac{Q_{42}}{1000} \times 1000 = 156.2853$$

$$\text{木节水分} = V_{33} - Q_{33} = 235.6920$$

$$W_{28} = \text{蒸煮总液量} - \text{木片水分} - \text{木节水分} - W_{30} - W_{29} = 1050.6800$$

$$\begin{aligned} \text{小放汽损失 } W_{31} &= \frac{Q_{43} + Q_{33}}{1000} \times 90 + \frac{Q_{43} + Q_{33}}{1000} \times 20 + \text{蒸煮总液量} \times 10\% \\ &= 335.7240 \end{aligned}$$

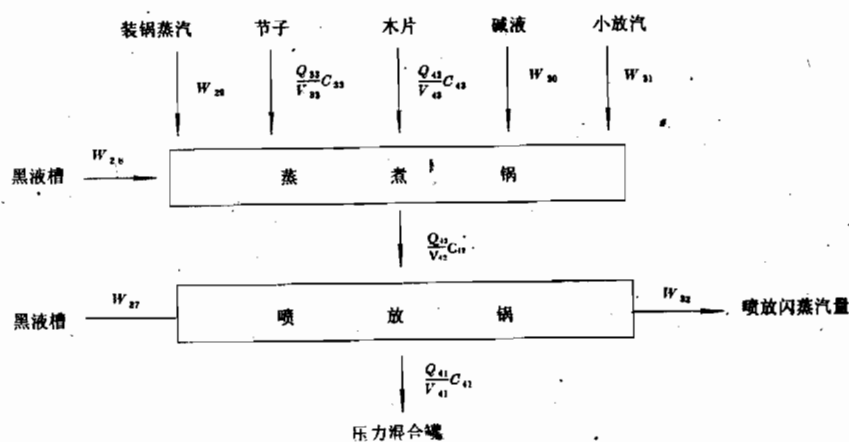
$$\text{化学损失 } Q_{44} = Q_{43} + Q_{33} - Q_{42} = 1273.4357$$

$$\text{喷放闪蒸汽量 } W_{32} = \frac{Q_{42}}{90\% \times 1000} \times 952 = 1102.1007$$

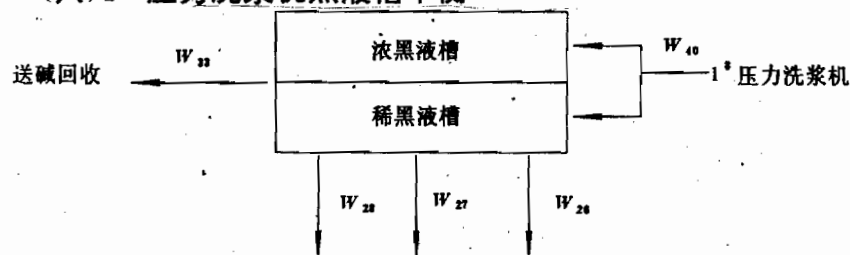
$$V_{42} = W_{28} + W_{29} + V_{33} + V_{43} + V_{30} - V_{31} = 10083.2952$$

$$C_{42} = \frac{Q_{42}}{V_{42}} = 10.3330\%$$

$$W_{27} = V_{41} + W_{32} - V_{42} = 25748.8688$$



(六) 1[#] 压力洗浆机黑液槽平衡



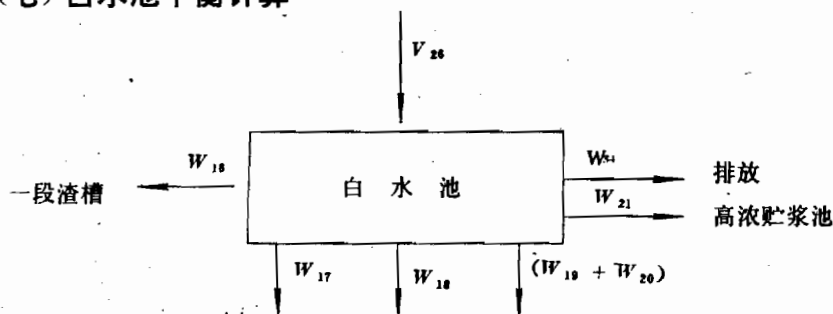
蒸煮锅 喷放锅 压力混合罐

【已知】 $V_{40} = 88160.0075$, $W_{26} = 52095.0950$

$W_{27} = 25748.8688$, $W_{28} = 1050.6800$

【计算】 $W_{33} = V_{40} - W_{26} - W_{27} - W_{28} = 9265.3637$

(七) 白水池平衡计算



二段渣槽 冲浆槽 高频振框筛

【已知】 $V_{26} = 178221.7253$, $W_{16} = 39518.6353$

$W_{17} = 14653.4080$, $W_{18} = 26939.3170$

$W_{20} + W_{19} = 13448.3164 + 51990.9050 = 65439.2214$

$W_{21} = 25995.4525$

【计算】 排放量 $W_{34} = V_{26} - W_{16} - W_{17} - W_{18} - (W_{19} + W_{20}) - W_{21}$
 $= 5675.6911$

(八) 水封池平衡计算

1. 2[#] 水封池平衡

【已知】 $V_{10} = 80336.9600$

$W_2 = 48913.0450$

$W_3 = 10000$

【计算】 排放量 $W_{35} = V_{10} - W_2 - W_3$
 $= 21423.9150$

2. 3[#] 水封池平衡

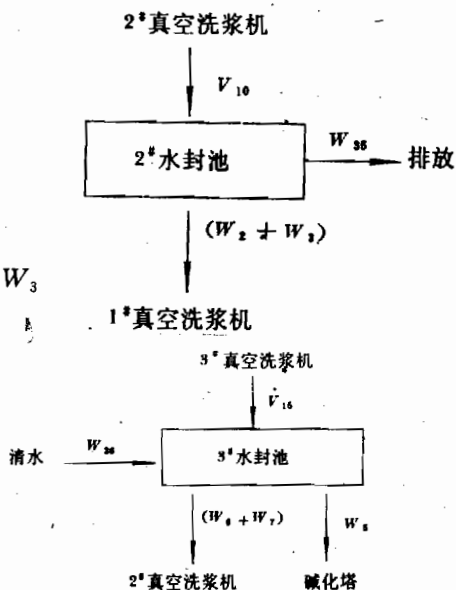
【已知】 $V_{15} = 77222.8333$

$W_6 = 47690.2200$

$W_7 = 10000$

$W_5 = 19870.9250$

【计算】 补充清水量



$$W_{36} = W_5 + W_6 + W_7 - W_{15}$$

$$= 338.3117$$

四、浆水平衡方框图

【说明】 根据以上计算数据按图 1-18-1 的流程布局,画出制浆生产过程浆水平衡方框图如图 1-18-2。

第二节 造纸生产过程的浆水平衡计算

【说明】 造纸车间的浆水平衡计算,一般是以一吨成品纸为计算基准,自完成工段起,按逆流程的顺序进行计算,最后得到单位产品所耗用的纤维、填料和水等物料量。

【公式】 同式 1-18-1~式 1-18-4

【例】 现以日产 50t 新闻纸的 3150 长网多缸纸机的浆水平衡计算为例,对造纸车间浆水平衡计算的具体步骤和方法加以说明。

一、确定流程方框图

【说明】 假设造纸车间的工艺流程如图 1-18-3。

二、选定平衡计算所需的有关定额和工艺技术数据

【说明】 根据收集和确定的已知数据列成表格(此略,详细已知数据见计算过程中。)

三、计算步骤与方法

【说明】 以 1t 成品纸为计算基准,单位为 kg。由于加填料量小于 10%,因此在计算过程中将填料视为纤维,而将松香、矾土、染料液视为清水。从成品按流程顺序逆向推算。

(一)成品库平衡计算

【已知】 $C_0 = C_1' = C_1'' = 93\%$

$V_0 = 1000.0000$

合格率 $k_1 = 97\%$

【计算】

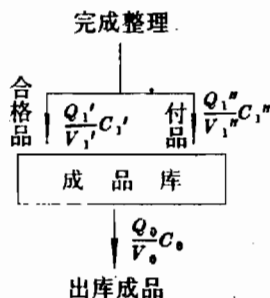
合格率 $k_1 = \frac{\text{合格品量}}{\text{全部成品量}} \times 100\%$

合格产品量 $V_1' = 1000.0000 \times 97\%$
 $= 970.0000$

$V_1'' = V_0 - V_1'$
 $= 30.0000$

$Q_1' = V_1' C_1'$
 $= 970 \times 93\%$
 $= 902.1000$

$Q_1'' = V_1'' C_1''$
 $= 30 \times 93\% = 27.9000$



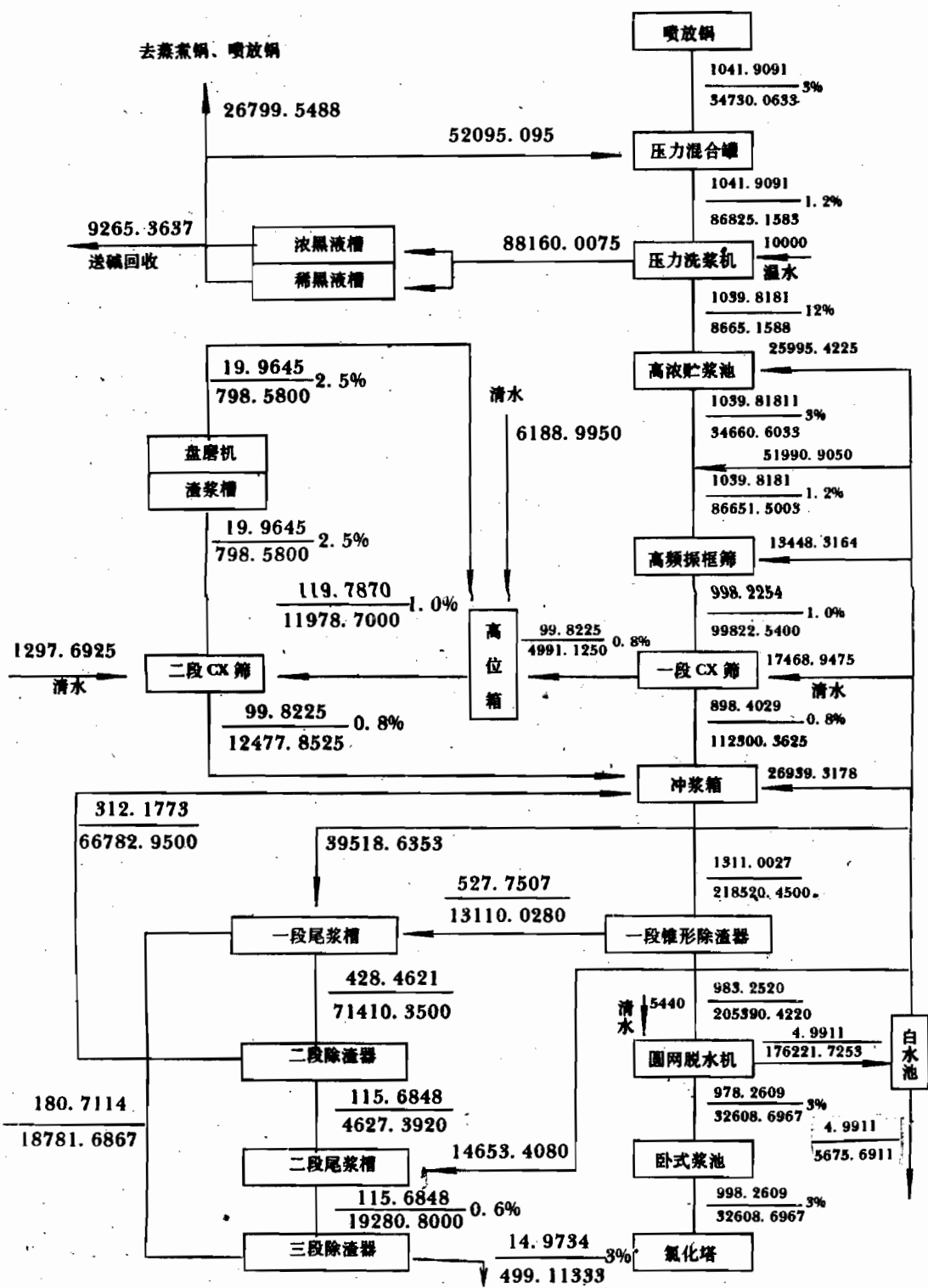


图 1-18-2 制浆生产过程浆水平衡方框图

(二) 完成整理部平衡

【已知】 $Q_1' = 902.1000$

$$Q_1'' = 27.9000$$

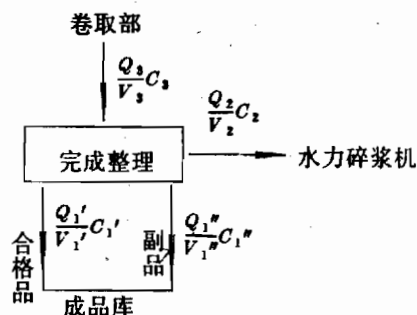
$$V_1' = 970$$

$$V_1'' = 30, C_3$$

$$= C_1' = C_1''$$

$$= C_2 = 93\%$$

$$\text{成品率 } k_2 = 95\%$$



【计算】 由于 $k_2 = \frac{\text{全部产品量 } V_0}{\text{抄造量 } V_3} \times 100\%$

$$\text{所以 } V_3 = \frac{V_0}{k_2} = \frac{1000}{95\%}$$

$$= 1052.6316$$

$$Q_3 = V_3 C_3$$

$$= 1052.6316 \times 93\%$$

$$= 978.9474$$

$$V_2 = V_3 - V_1' - V_1''$$

$$= 52.6316$$

$$Q_2 = Q_3 - Q_1' - Q_1''$$

$$= 48.9474$$

(三) 卷取部平衡计算

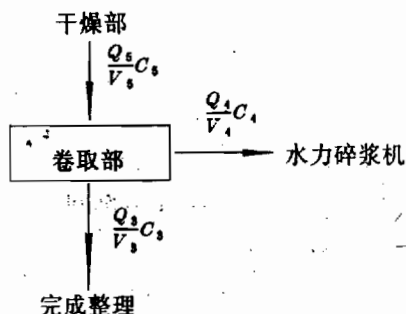
【已知】 $Q_3 = 978.9474$

$$V_3 = 1052.6316$$

$$C_3 = C_5 = C_4 = 93\%$$

$$\text{抄造率 } R_5 = 97\%$$

$$\text{干损纸率 } \alpha_1 = 1.5\%$$



【计算】 由于抄造率 $k_3 = \frac{\text{抄造量}}{\text{抄造量} + \text{抄造损失量}} \times 100\%$, 而抄造损失量包括造纸

机干燥和卷取部损纸、伏辊断头损纸和各道压榨损纸。干燥和卷取部损纸为干损纸, 而伏辊和压榨为湿损纸。

设 $G = \text{抄造量} + \text{抄造损纸量}$, 则:

$$G = \frac{V_3}{R_3} = \frac{1052.6316}{97\%} = 1085.1872$$

$$\text{设 } G \text{ 中绝干纤维量为 } H = \frac{Q_3}{R_3} = 1009.2241$$

假设干损纸全部出压光卷取部, 则:

$$Q_4 = H \cdot \alpha_1 = 15.1384$$

$$V_4 = \frac{Q_4}{C_4} = 16.2778$$

$$Q_5 = Q_3 + Q_4 = 994.0858$$

$$V_5 = V_3 + V_4 = 1068.9094$$

(四) 干燥部平衡计算

【已知】 进干燥部纸页干度 $C_5 = 38\%$

$$Q_5 = 994.0858$$

$$V_5 = 1068.9094, C_5 = 93\%$$

【计算】 由于在干燥部纤维损失可忽略不计,故:

$$Q_6 = Q_5 = 994.0858$$

$$V_6 = \frac{Q_6}{C_6} = 2616.0153$$

$$W_1 = V_6 - V_5 = 1547.1059$$

(五) 压榨部平衡计算

【已知】 $C_9 = 20\%$

$$C_6 = 38\%$$

$$Q_6 = 994.0858$$

$$V_6 = 2616.0153$$

压榨部湿损纸率 $\alpha_2 = 0.5\%$

压榨部带出纤维率 $\alpha_3 = 0.15\%$

【计算】 湿损纸进入伏损池,则

$$Q_8 = H\alpha_2 = 1009.2241 \times 0.5\% = 5.0461$$

设湿损纸平均干度为 30% ,即 $C_8 = 30\%$,则:

$$V_8 = \frac{Q_8}{C_8} = 16.8203$$

压榨部带出纤维量 $Q_7 = Q_9\alpha_3$

$$Q_9 = Q_8 + Q_6 + Q_9\alpha_3 = \frac{Q_6 + Q_8}{1 - \alpha_3} = 1000.6328$$

$$Q_7 = Q_9 - Q_6 - Q_8 = 1.5009$$

(六) 真空伏辊平衡计算

【已知】 $Q_9 = 1000.6328$

$$V_9 = 5003.1640$$

$$C_9 = 20\%$$

$$C_{12} = 12\%$$

伏辊带出纤维率 $\alpha_4 = 0.2\%$

铜网冲边宽度 $b = 2 \times 25mm$

抄宽 $B_m = 3190mm$,

横向收缩率 $\epsilon = 3.5\%$

洗伏辊水 $W_3 = 9639$,

伏辊水封水 $W_4 = 3936.9$

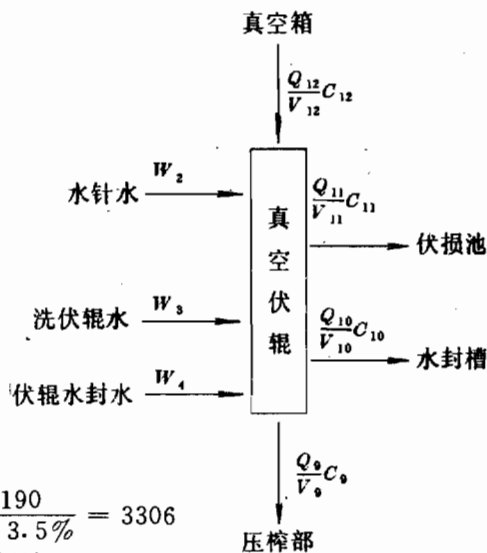
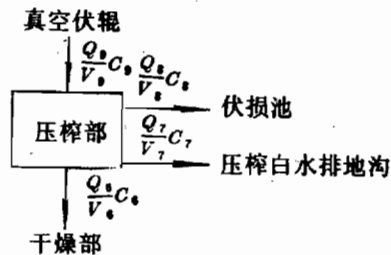
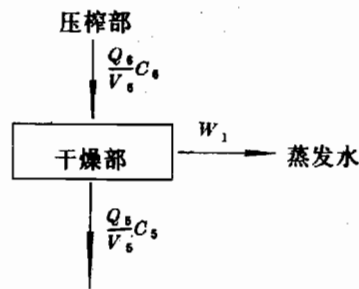
伏辊处损纸率 $\alpha_5 = 1.0\%$

【计算】 湿纸幅宽 $B_n = \frac{B_m}{1 - \epsilon} = \frac{3190}{1 - 3.5\%} = 3306$

湿纸边占整个湿纸幅宽的比率(进入伏损池)

$$x = \frac{50}{50 + 3306} \times 100\% = 1.4899\%$$

进入伏损池的湿损纸量:



$$Q_{11}' = H\alpha_5 = 1009.2241 \times 1\% = 10.0922$$

$$\text{冲边量 } Q_{11}'' = x \cdot Q_{12}$$

$$Q_{11} = Q_{11}' + Q_{11}'' = 10.0922 + xQ_{12}$$

白水带走纤维进入真空室,后进入水封池,

$Q_{10} = \alpha_4 Q_{12}$, 对伏辊进行平衡, 则:

$$Q_{12} = Q_{10} + Q_{11} + Q_9$$

$$\text{即 } Q_{12} = \alpha_4 Q_{12} + xQ_{12} + Q_{11}' + Q_9 = \frac{Q_{11}' + Q_9}{1 - (\alpha_4 + x)} = 1028.0988$$

$$Q_{11} = 10.0922 + xQ_{12} = 25.4098$$

$$Q_{10} = Q_{12} - Q_9 - Q_{11} = 2.0562$$

$$V_{12} = \frac{Q_{12}}{C_{12}} = 8567.4900$$

湿纸切边及引纸水针使用的是 687kPa 以上的高压水, 水针喷孔孔径为 1mm, 流量系数 μ 取 0.6, 则每支水针喷水量:

$$W = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot 60 \cdot \mu \sqrt{2gH}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 0.001^2 \times 60 \times 0.6 \sqrt{2 \times 9.81 \times 70} = 0.00105 (\text{m}^3/\text{min})$$

设纸机日产 50t, 每日工作 22.5h, 则生产吨纸所需时间为:

$$t = \frac{22.5 \times 60}{50} = 27 (\text{min})$$

生产每吨纸的湿纸切边及引纸水针(共 3 根水针)用水量为:

$$W_2 = 27 \times 0.00105 \times 3 = 0.08505 (\text{m}^3/\text{t 纸})$$

$$= 85.0500 (\text{kg}/\text{t 纸})$$

水针切下的湿纸边用冲边水冲入伏辊池内; 而伏辊内需喷水作水封并起润滑作用, 随同白水进入真空室; 洗伏辊水流入伏辊池。

$$V_{11} = \frac{Q_{11}}{C_9} + W_2 + W_3 = 9851.0990$$

$$V_{10} = V_{12} + W_4 - \frac{Q_{11}}{C_9} - V_9 = 7374.1770$$

$$C_{11} = \frac{Q_{11}}{V_{11}} = 0.2579\%$$

$$C_{10} = \frac{Q_{10}}{V_{10}} = 0.02788\%$$

(七) 真空箱平衡计算

【已知】 $Q_{12} = 1028.0988$

$$V_{12} = 8567.4900$$

$$C_{14} = 3\%$$

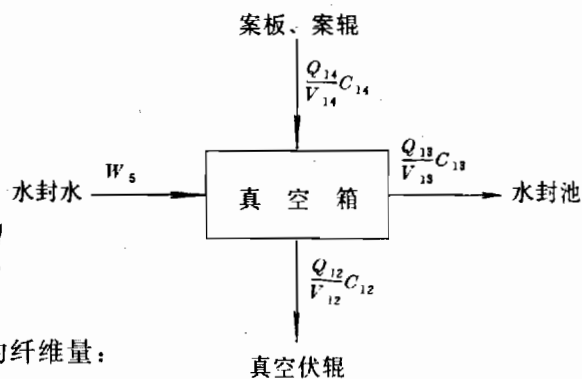
真空箱白水带出纤维率 $\alpha_6 = 2.9\%$

真空箱水封水 $W_5 = 337.5$

【计算】 真空箱吸水过程中带出的纤维量:

$Q_{13} = \alpha_6 Q_{14}$, 而 $Q_{14} = Q_{12} + Q_{13}$, 所以

$$Q_{14} = \frac{Q_{12}}{1 - \alpha_6} = 1058.8041$$



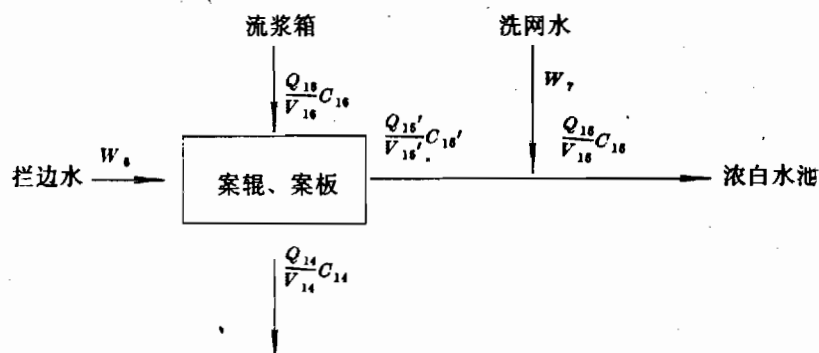
$$Q_{13} = \alpha_6 Q_{14} = 30.7053$$

$$V_{14} = \frac{Q_{14}}{C_{14}} = 35293.4700$$

$$V_{13} = V_{14} + W_5 - V_{12} = 27063.4800$$

$$C_{13} = \frac{Q_{13}}{V_{13}} = 0.1135\%$$

(八) 案辊、案板平衡计算



【已知】 $Q_{14} = 1058.8041$,

$V_{14} = 35293.4700$

$C_{14} = 0.65\%$

案辊、案板带出纤维率 $\alpha_7 = 45\%$

拦边水 $W_6 = 1854.9$

【计算】 $Q_{15}' = \alpha_7 Q_{16}$, $Q_{16} = Q_{14} + Q_{15}'$

$$Q_{16} = \frac{Q_{14}}{1 - \alpha_7} = 1925.0984$$

$$V_{16} = \frac{Q_{16}}{C_{16}} = 296168.9846$$

$$Q_{15}' = Q_{16} - Q_{14} = 866.2943$$

$$V_{15}' = V_{16} + W_6 - V_{14} = 262730.4146$$

本纸机车速在 240m/min 以上,所以取喷水压力为 588kPa,洗网设置 5 只喷水管,每根管上都是双排孔,喷水孔径为 1mm,孔距为 20mm,每米宽 100 个孔,每根管有效长 3.84m,则一根管喷水量为:

$$W = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{1}{1000}\right)^2 \times 60 \times 0.6 \sqrt{2 \times 9.81 \times 60} \times 100 \times 3.84 = 0.372(\text{m}^3/\text{min})$$

生产一吨纸需 27min 钟,所以一根管每吨纸喷水量为:

$$27 \times 0.3723 = 10.0521(\text{m}^3/\text{t 纸}) = 10052.1(\text{l/t 纸})$$

因本纸机是双层布置,因此,有三只洗网水管的洗网水进入浓白水池,两根进入稀白水池,则:

$$\text{进入浓白水池的洗网水量 } W_7 = 10052.1 \times 3 = 30156.3$$

$$\text{进入水封池的洗网水量 } W_8 = 10052.1 \times 2 = 20104.2$$

$$V_{15} = V_{15}' + W_7 = 292886.7146$$

$$Q_{15} = Q_{15}' = 866.2943, \quad C_{15} = \frac{Q_{15}}{V_{15}} = 0.2958\%$$

(九) 流浆箱平衡计算

【已知】 $Q_{16} = 1925.0984$
 $V_{16} = 296168.9846$
 $W_9 = 2311.2$

流浆箱溢流量 $\alpha_8 = 10\%$

$C_{16} = C_{17} = 0.65\%$

【计算】

$Q_{17} = \alpha_8 Q_{18} = 10\% Q_{18}$

$Q_{18} = Q_{16} + Q_{17} = \frac{Q_{16}}{1 - 10\%} = 2138.9982$

$Q_{17} = Q_{18} - Q_{16} = 213.8998$

$V_{17} = \frac{Q_{17}}{V_{17}} = 32907.6615$

$V_{18} = V_{16} + V_{17} - W_9 = 326765.4461$

$C_{18} = \frac{Q_{18}}{V_{18}} = 0.6546\%$

(十) 稳浆箱平衡

【已知】 $Q_{18} = 2138.9982$
 $V_{18} = 326765.4461$
 $C_{18} = C_{19} = C_{20} = 0.6546\%$

高位箱回流量 $\alpha_9 = 10\%$

【计算】 $Q_{19} = \alpha_9 Q_{20} = 10\% Q_{20}$

$Q_{20} = Q_{18} + Q_{19} = \frac{Q_{18}}{1 - 10\%} = 2376.6647$

$Q_{19} = Q_{20} - Q_{18} = 237.6665$

$V_{20} = \frac{Q_{20}}{C_{20}} = 363071.2955, V_{19} = V_{20} - V_{18} = 36305.8494$

(十一) 旋翼筛平衡

【已知】 $Q_{20} = 2376.6647$
 $V_{20} = 363071.2955$

旋翼筛排渣率 $\alpha_{10} = 8\%$

旋翼筛排渣浓度 $C_{21} = 1.2\%$

【计算】 $Q_{21} = \alpha_{10} Q_{22} = 8\% Q_{22}$

$Q_{22} = Q_{20} + Q_{21} = \frac{Q_{20}}{1 - 8\%} = 2583.3312$

$Q_{21} = 8\% Q_{22} = 206.6665$

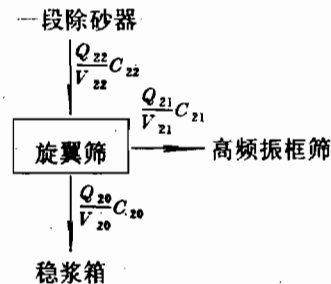
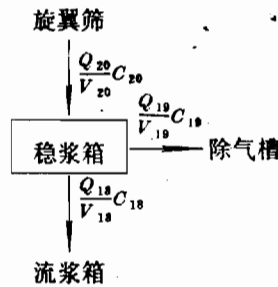
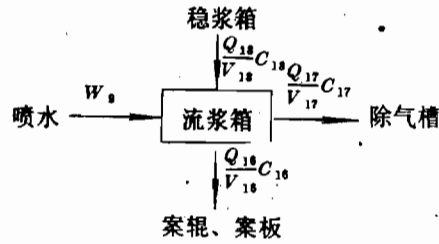
$V_{21} = \frac{Q_{21}}{C_{21}} = 17222.2083$

$V_{22} = V_{20} + V_{21} = 380293.5038$

$C_{22} = \frac{Q_{22}}{V_{22}} = 0.6793\%$

(十二) 一段除砂器平衡

【已知】 $Q_{22} = 2583.3312$



$$V_{22} = 380293.5038$$

一段除砂器排渣率 $\alpha_{11} = 25\%$

一段除砂器排渣浓度 $C_{23} = 1.2\%$

$$Q_{23} = \alpha_{11} Q_{24} = 25\% Q_{24}$$

$$Q_{24} = Q_{22} + 25\% Q_{24} = \frac{Q_{23}}{1 - 25\%} = 3444.4416$$

$$Q_{23} = 25\% Q_{24} = 861.1104$$

$$V_{23} = \frac{Q_{23}}{C_{23}} = 71759.2000$$

$$V_{24} = V_{22} + V_{23} = 452052.7038$$

$$C_{24} = \frac{Q_{24}}{V_{24}} = 0.7620\%$$

(十三) 高频振框筛平衡

【已知】 $Q_{21} = 206.6665$

$$V_{21} = 17222.2083$$

高频振框筛排渣率 $\alpha_{12} = 0.1\%$ (对成品)

高频振框筛排渣浓度 $C_{25} = 3\%$

高频振框筛良浆浓度 $C_{26} = 0.8\%$

【计算】 $Q_{25} = V_0 C_0 \alpha_{12}$

$$= 1000 \times 93\% \times 0.1\%$$

$$= 0.9300$$

$$V_{25} = \frac{Q_{25}}{C_{25}} = 31.0000$$

屋顶白水池的白水来自于水封池,进入水封池的白水来自于真空箱和真空伏辊及两道洗网水。故:

$$\text{纤维量 } Q_{28} = Q_{10} + Q_{13} = 2.0562 + 30.7656 = 32.7618$$

$$\begin{aligned} \text{白水量 } V_{28} &= V_{10} + V_{13} + W_8 = 7374.1770 + 27063.4800 + 20104.2000 \\ &= 54541.8570 \end{aligned}$$

$$\text{浓度 } C_{28} = \frac{Q_{28}}{V_{28}} = 0.06007\%$$

根据高频振框筛进出量的关系得:

$$\begin{cases} Q_{27} + Q_{21} = Q_{25} + Q_{26} \\ \frac{Q_{27}}{C_{27}} + V_{21} = V_{25} + \frac{Q_{26}}{C_{26}} \end{cases} \quad \text{即} \quad \begin{cases} Q_{27} + 206.6665 = 0.93 + Q_{26} \\ \frac{Q_{27}}{0.06007\%} + 17222.2083 = 31 + \frac{Q_{26}}{0.8\%} \end{cases}$$

$$\text{解之得: } Q_{26} = 211.2738, Q_{27} = 5.5373$$

$$V_{26} = \frac{Q_{26}}{C_{26}} = 26409.2250$$

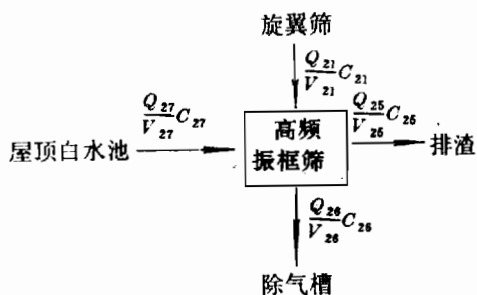
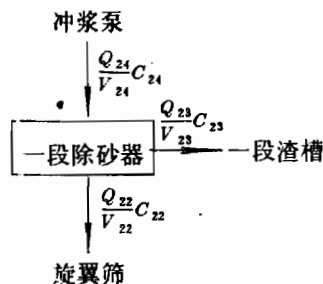
(十四) 浆渣槽、除砂器的联立衡算

由于二段除砂器与一段渣槽、二段渣槽、三段除砂器构成了循环,不能单一进行衡算,必须对这几个单元进行联立衡算。

【已知】 $Q_{23} = 861.1104, V_{23} = 71759.2000$

二段除砂器排渣率 $\alpha_{13} = 10\%$

二段除砂器排渣浓度 $C_{32} = 1.0\%$

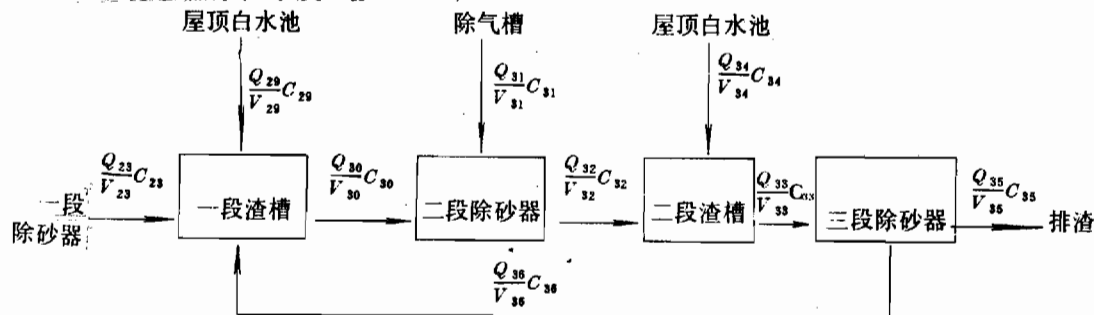


二段除砂器进浆浓度 $C_{30} = 0.8\%$

三段除砂器进浆浓度 $C_{33} = 0.6\%$

三段除砂器排渣率 $\alpha_{14} = 18\%$

三段除砂器浆渣浓度 $C_{35} = 1.0\%$



【计算】 根据系统中各量的关系列式如下：

$$\begin{cases} Q_{23} + Q_{29} + Q_{36} = Q_{30} \\ Q_{30} = Q_{31} + Q_{32} \\ Q_{32} + Q_{34} = Q_{33} \\ Q_{32} = 10\%Q_{30} \\ Q_{33} = Q_{36} + Q_{35} \\ Q_{35} = 18\%Q_{33} \\ V_{23} + V_{29} + V_{36} = V_{30} \\ V_{33} = V_{36} + V_{35} \\ V_{32} + V_{34} = V_{33} \end{cases}$$

代入已知数据并整理得：

$$\begin{cases} 861.1104 + Q_{29} + Q_{36} = Q_{30} \\ Q_{30} = Q_{31} + Q_{32} \\ Q_{32} + Q_{34} = Q_{33} \\ Q_{32} = 10\%Q_{30} \\ Q_{33} = Q_{36} + Q_{35} \\ 71759.2000 + \frac{Q_{29}}{0.06007\%} + V_{36} = \frac{Q_{30}}{0.8\%} \\ \frac{Q_{33}}{0.6\%} = V_{36} + \frac{Q_{35}}{1.0\%} \\ \frac{Q_{32}}{1.0\%} + \frac{Q_{34}}{0.06007\%} = \frac{Q_{33}}{0.6\%} \end{cases}$$

依次解得： $Q_{36} = 82.5621, Q_{30} = 963.9568$

$$\begin{aligned} V_{30} &= \frac{Q_{30}}{C_{30}} = 120494.6000 \\ Q_{29} &= Q_{30} - Q_{36} - 861.1104 = 20.2843 \\ Q_{32} &= 10\%Q_{30} = 96.3957 \\ V_{32} &= \frac{Q_{32}}{C_{32}} = 9639.5100 \end{aligned}$$

$$Q_{31} = Q_{30} - Q_{32} = 867.5611$$

$$V_{31} = V_{30} - V_{32} = 110855.0300$$

$$C_{31} = \frac{Q_{31}}{V_{31}} = 0.7826\%$$

$$Q_{33} = \frac{Q_{36}}{82\%} = 100.6855$$

$$V_{33} = \frac{Q_{36}}{C_{33}} = 16780.9167$$

$$Q_{35} = Q_{33} - Q_{36} = 1812.3400$$

$$V_{35} = \frac{Q_{35}}{C_{35}} = 1812.3400$$

$$V_{36} = V_{33} - V_{35} = 14968.5767$$

$$V_{29} = V_{30} - V_{23} = 33766.8233$$

$$Q_{34} = Q_{33} - Q_{32} = 4.2898$$

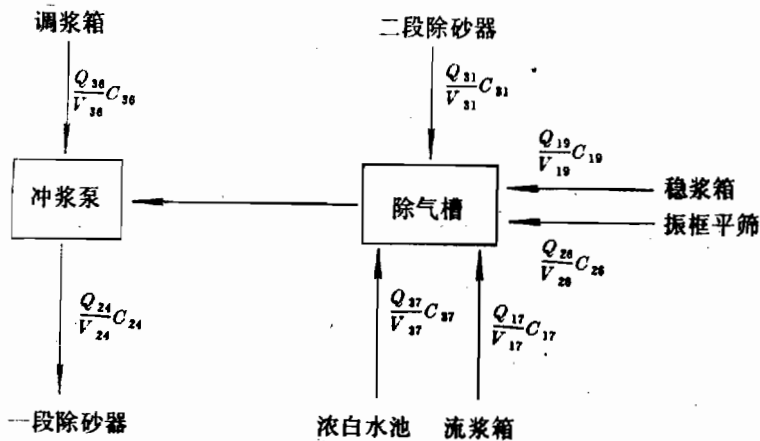
$$V_{34} = V_{33} - V_{32} = 7141.3467$$

根据下式验算上述计算结果:

$$Q_{23} + Q_{29} + Q_{34} = Q_{31} + Q_{35} = 885.6845$$

$$V_{23} + V_{29} + V_{34} = V_{31} + V_{35} = 112667.3700$$

(十五) 冲浆泵、除气槽联立平衡



【已知】 $Q_{24} = 3444.4416, Q_{31} = 867.5611$

$Q_{26} = 211.2738, Q_{19} = 237.6665, Q_{17} = 213.8998, Q_{36} = 3\%$

将以上两个单元看成一个整体,则:

$$\begin{cases} Q_{24} = Q_{36} + Q_{31} + Q_{26} + Q_{19} + Q_{17} + Q_{37} \\ V_{24} = \frac{Q_{36}}{C_{36}} + V_{31} + V_{26} + V_{19} + V_{17} + \frac{Q_{37}}{C_{37}} \end{cases}$$

$$Q_{36} + Q_{37} = 1914.0404$$

$$\frac{Q_{36}}{3\%} + \frac{Q_{37}}{0.2958\%} = 245574.9376$$

解之得: $Q_{37} = 596.5018, Q_{36} = 1317.5386$

$$V_{36} = \frac{Q_{36}}{C_{36}} = 43917.8033$$

$$V_{37} = 245574.9376 - V_{36} = 201657.1343$$

(十六) 浓白水池平衡

【已知】 $Q_{15} = 866.2943$

$$V_{15} = 292886.7146$$

$$Q_{37} = 596.5018$$

$$V_{37} = 201657.1343$$

$$C_{38} = C_{37} = C_{15} = 0.2958\%$$

【计算】 $Q_{38} = Q_{15} - Q_{37} = 269.7925$

$$V_{38} = V_{15} - V_{37} = 91229.5803$$

(十七) 水力碎浆机平衡

【已知】

$$Q_2 = 48.9474$$

$$V_2 = 52.5316$$

$$Q_4 = 15.1384$$

$$V_4 = 16.2778$$

$$C_{40} = C_{28} = 0.06007\%$$

$$C_{39} = 2.5\%$$

【计算】 列出以下平衡式：

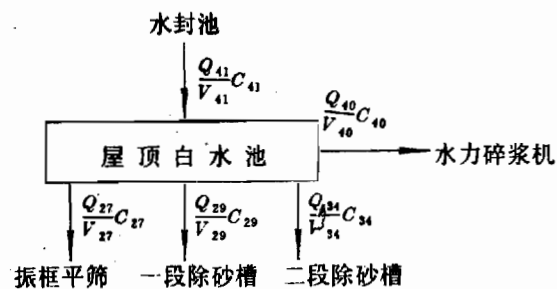
$$\begin{cases} Q_2 + Q_4 + Q_{40} = Q_{39} \\ V_2 + V_4 + \frac{Q_{40}}{C_{40}} = \frac{Q_{39}}{C_{39}} \end{cases}$$

代入数据并解之得：

$$Q_{40} = 1.5354, Q_{39} = Q_2 + Q_4 + Q_{40} = 65.6212$$

$$V_{39} = \frac{Q_{39}}{C_{39}} = 2624.8480, V_{40} = V_{35} - V_2 - V_4 = 2555.9386$$

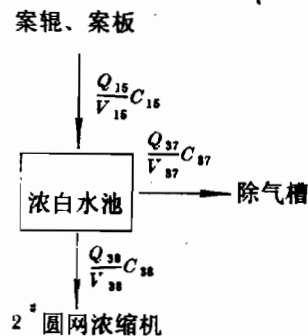
(十八) 屋顶白水池平衡



【已知】 $Q_{27} = 5.5373, V_{27} = 9218.0167$

$$Q_{29} = 20.2843, V_{29} = 33766.8233$$

$$Q_{34} = 4.2898, V_{34} = 7141.3467$$



$$Q_{40} = 1.5354, V_{40} = 2555.9386$$

【计算】 $Q_{41} = Q_{27} + Q_{29} + Q_{34} + Q_{40} = 31.6468$

$$V_{41} = V_{27} + V_{29} + V_{34} + V_{40} = 52682.1253$$

(十九)水封池平衡

【已知】

$$W_8 = 20104.2000$$

$$Q_{13} = 30.7053$$

$$V_{13} = 27063.4800$$

$$Q_{10} = 2.0562$$

$$V_{10} = 7374.1770$$

$$Q_{41} = 31.6468$$

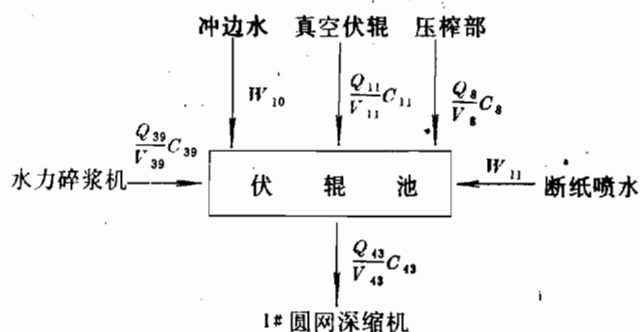
$$V_{41} = 52682.1253$$

【计算】

$$Q_{42} = Q_{13} + Q_{10} - Q_{41} = 1.1147$$

$$V_{42} = W_8 + V_{13} + V_{10} - V_{41} = 1859.7317$$

(二十)伏辊池平衡



【已知】 $W_{11} = 1000.0000, Q_{39} = 65.6212$

$$V_{39} = 2624.8480, Q_{11} = 25.4098$$

$$W_{10} = 3000.0000, V_{11} = 9851.0990$$

$$Q_8 = 5.0461, V_8 = 16.8203$$

【计算】 $Q_{43} = Q_{39} + Q_{11} + Q_8 = 96.0771$

$$W_{43} = V_{39} + W_{10} + V_{11} + V_8 + W_{11} = 16492.7673$$

$$C_{43} = \frac{Q_{43}}{V_{43}} = 0.5825\%$$

(二十一)1#圆网脱水机平衡

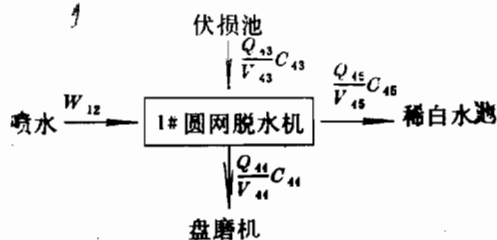
【已知】

$$C_{44} = 3.5\%$$

$$C_{45} = 0.05\%$$

$$Q_{48} = 96.0771$$

$$V_{43} = 16492.7673$$



$C_{43} = 0.5825\%$, 喷水量 $W_{12} = 30000.0000$

【计算】
$$\begin{cases} Q_{48} = Q_{44} + Q_{45} \\ W_{12} + V_{43} = \frac{Q_{44}}{C_{44}} + \frac{Q_{45}}{C_{45}} \end{cases}$$

代入已知数据得:

$Q_{44} = 87.5819$

$Q_{45} = Q_{43} - Q_{44} = 8.4952$

$V_{44} = \frac{Q_{44}}{C_{44}} = 2502.3400$

$V_{45} = W_{12} + V_{43} - V_{44} = 16990.4273$

(二十二) 2# 圆网浓缩机平衡

【已知】

$Q_{38} = 269.7925$

$V_{38} = 91229.5803$

$C_{47} = 0.05\%$

$C_{46} = 3.5\%$

$W_{13} = 3000.0000$

【计算】
$$\begin{cases} Q_{38} = Q_{46} + Q_{47} \\ V_{13} + V_{38} = \frac{Q_{46}}{C_{46}} + \frac{Q_{47}}{C_{47}} \end{cases}$$

代入数据并解之得:

$Q_{46} = 225.9049, Q_{47} = Q_{38} - Q_{46} = 43.8876$

$V_{46} = \frac{Q_{46}}{C_{46}} = 6454.4257, V_{47} = V_{38} + W_{13} - V_{46} = 87775.1546$

(二十三) 盘磨机、损纸池平衡

【已知】

$Q_{44} = 87.5819$

$V_{44} = 2502.3400$

$Q_{46} = 225.9049$

$V_{46} = 6454.4257$

【计算】 $Q_{48} = Q_{46} + Q_{44} = 313.4868$

$V_{48} = V_{46} + V_{44} = 8956.7657$

(二十四) 调浆箱平衡计算

【已知】 填料用量 5% (对成品), 填料浓度

$C_{61} = 10\%$, 调浆箱回流量为 10%, $Q_{36} = 1317.5386, V_{36} = 43917.8033$

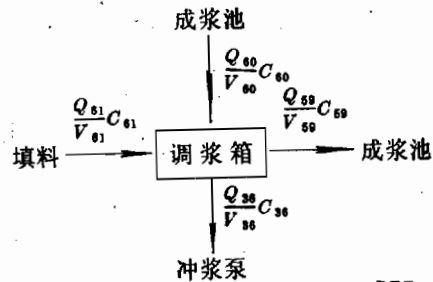
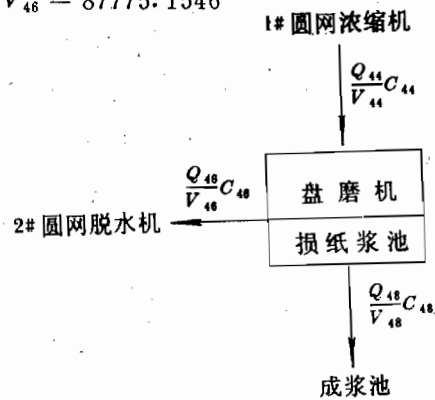
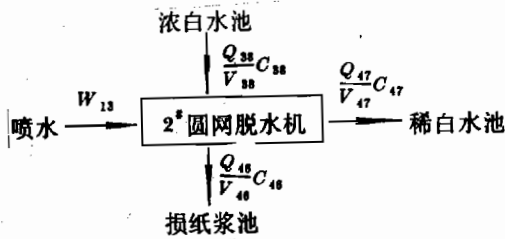
【计算】 填料加入量 = $1000 \times 5\% = 50$

假设填料的总留着率为 70%, 则留在纸中的
填料量为 $50 \times 70\% = 35$ (kg)。

填料流失量 = $50 - 35 = 15$ (kg)

$Q_{61} = 35, V_{61} = \frac{50}{10\%} = 500$

对本单元进行平衡得:



$$\begin{cases} Q_{61} + Q_{60} = Q_{36} + Q_{59} \\ Q_{59} = 10\%(Q_{61} + Q_{60}) \\ V_{61} + V_{60} = V_{36} + \frac{Q_{59}}{C_{59}} \end{cases}$$

解之得: $Q_{60} = 1428.9318$ $Q_{59} = Q_{61} + Q_{60} - Q_{36} = 146.3932$

$$V_{59} = \frac{Q_{59}}{C_{59}} = 4879.7733$$

$$V_{60} = V_{36} + V_{59} - V_{61} = 48297.5766 \quad C_{60} = \frac{Q_{60}}{C_{60}} = 2.9586\%$$

(二十五)成浆池平衡计算

【已知】 $Q_{48} = 313.4868$ $V_{48} = 8956.7657$ $Q_{60} = 1428.9318$

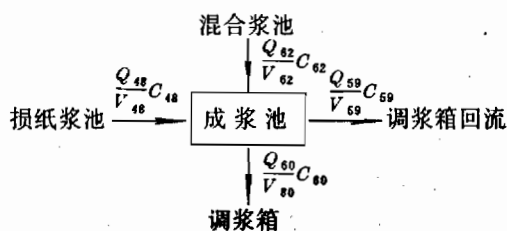
$$V_{60} = 48297.5766 \quad Q_{59} = 146.3962 \quad V_{59} = 4879.7733$$

【计算】

$$Q_{62} = Q_{60} - Q_{48} - Q_{59} = 969.0518$$

$$V_{62} = V_{60} - V_{48} - V_{59} = 34461.0376$$

$$C_{62} = \frac{Q_{62}}{V_{62}} = 2.8120\%$$



(二十六)混合浆池平衡计算

【已知】 品兰用量 0.003% (对成品), 品兰溶液浓度 0.5%, 矾土用量 1% (对成品), 矾土液浓度 10%, 化浆: 机浆 = 15:85, 化浆浓度 $C_{64} = 2\%$, 机浆浓度 $C_{63} = 3.5\%$, $Q_{62} = 969.0518$, $V_{62} = 34461.0376$

【计算】

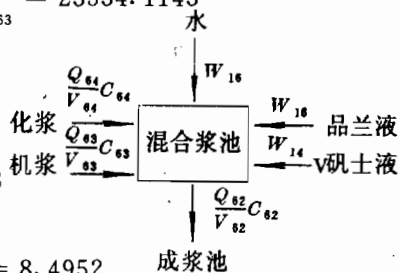
$$\text{化浆用量 } Q_{64} = Q_{62} \times 15\% = 145.3578 \quad V_{64} = \frac{Q_{64}}{C_{64}} = 7267.8900$$

$$\text{机浆用量 } Q_{63} = Q_{62} \times 85\% = 823.6940 \quad V_{63} = \frac{Q_{63}}{C_{63}} = 23534.1143$$

$$\text{品兰液量 } W_{15} = \frac{1000 \times 0.003\%}{0.5\%} = 6$$

$$\text{矾土液量 } W_{14} = \frac{1000 \times 1\%}{10\%} = 100$$

$$W_{16} = V_{62} - V_{63} - V_{64} - W_{14} - W_{15} = 3553.0333$$



(二十七)稀白水池平衡计算

【已知】 $Q_{47} = 43.8876$ $V_{47} = 8775.1546$ $Q_{45} = 8.4952$

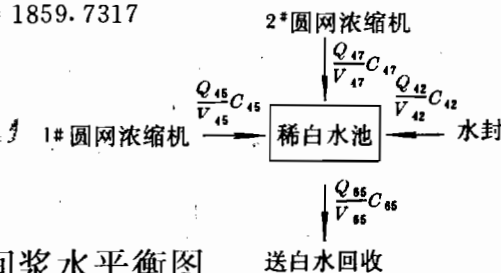
$$V_{45} = 16990.4273 \quad Q_{42} = 1.1147 \quad V_{42} = 1859.7317$$

【计算】

$$Q_{65} = Q_{47} + Q_{45} + Q_{42} = 53.4975$$

$$V_{65} = V_{47} + V_{45} + V_{42} = 106625.3136$$

$$C_{65} = \frac{Q_{65}}{V_{65}} = 0.05017\%$$



四、绘制造纸车间浆水平衡图

【说明】 根据以上计算数据, 绘出造纸车间浆水平衡图 (见图 1-18-4)。

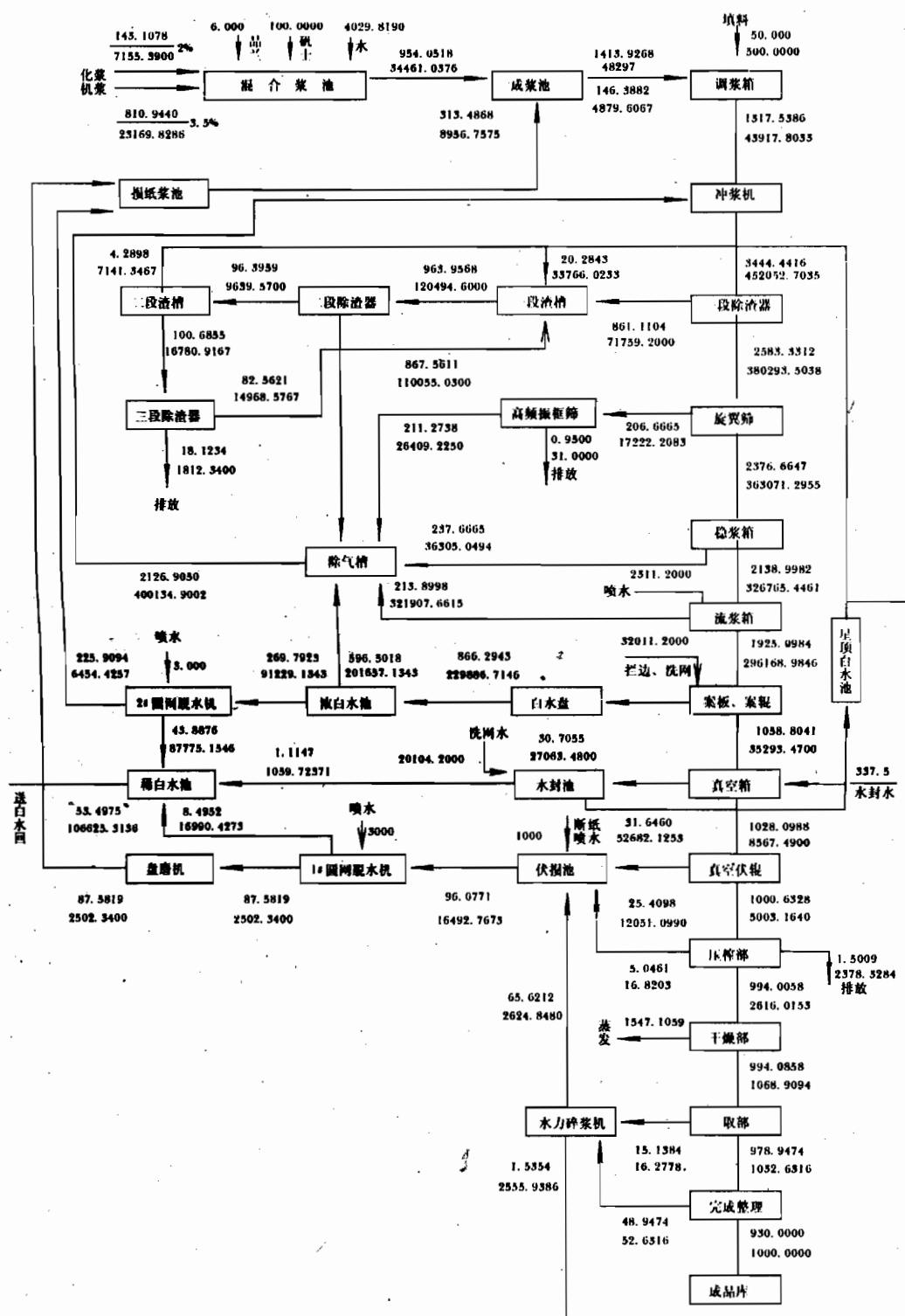


图 1-18-4 造纸车间浆水平衡图

第三节 碱回收生产过程的物料平衡计算

【说明】 碱回收的物料平衡计算主要是对蒸发、燃烧、苛化、白泥回收等生产过程的硫碱以及其它物料的平衡计算,其目的也是为设备、管路的选择、热量衡算等其它设计提供依据,同时可以得到原料消耗、产品数量以及排出废渣、废气量等,对于指导生产具有重要意义。碱回收生产过程的物料平衡计算与制浆和造纸生产过程中的物料衡算有所区别。制浆造纸生产过程大部分是物理变化,因此,浆水平衡计算是按流程逐设备计算;而碱回收生产过程绝大部分是化学变化过程,其物料衡算比较复杂,除有时按流程逐设备计算外,大部分内容是化学分析计算,但仍然遵循物料平衡计算原则。

本部分还是通过对苛化和燃烧两个工段的平衡计算实例,来说明碱回收物料平衡的计算步骤和方法。

一、燃烧工段的物料平衡计算

【说明】 燃烧工段物料平衡计算的对象主要是钠元素和硫元素的平衡,同时还有其它含量较多的元素。其计算的方法是根据蒸煮条件、各工段碱损失、排出黑液固形物的重量、硫和钠的含量等,结合工厂的实际和有关资料定出固形物中其它各元素的含量;推出熔融物中钠、硫以及其它成分含量;然后,在燃烧炉中平衡,求出补充芒硝量、空气用量以及烟气量。

为了计算方便,现假设硫和钠是按芒硝中硫和钠的比例飞失的(实际未必如此),所有碱损失以 Na_2S 的形式来计算。这样得到的结果虽然各部损失硫和钠的量会与实际稍有偏差,但不影响其结果作为生产中其它指标和设备选择的依据。以下按工段顺序计算,单位为 kg;计算中所选有关定额及技术数据见计算过程中已知条件;计算仍以生产一吨的风干浆作为依据。

(一) 蒸煮工段的计算

【已知条件】 用碱量(以 Na_2O 计) = 420 kg

液比 = 1 : 4, 硫化度 = 25 %

松节油产量 = 2 kg

小放汽冷凝液量 = 200 kg

喷放冷凝液量 = 1150 kg, 粗浆得率 = 43 %

芒硝还原率 = 90 %, 苛化度 = 85 %

蒸煮碱损失率 = 1.35 % (对用碱量)

1. 蒸煮实际用碱量的计算

根据: 硫化度 = $\frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}} \times 100 = 25 \%$

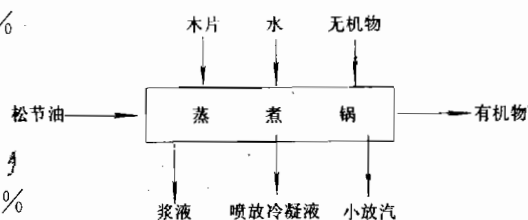


得: $\text{Na}_2\text{S} = \text{用碱量} \times \text{硫化度}$

= 105 (以 Na_2O 计)

= 132.0968 (以 Na_2S 计)

$\text{NaOH} = \text{用碱量} (1 - \text{硫化度})$



$$=420 \times (1-25\%) = 315 (\text{以 Na}_2\text{O 计})$$

$$=406.4616 (\text{以 Na}_2\text{OH 计})$$

$$\text{用碱总重量} = 132.0968 + 406.4516 = 538.5484$$

2. 蒸煮液中其它无机物含量的计算

$$\text{根据: 苛化度} = \frac{\text{NaOH}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3}, \text{则:}$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{1 - \text{苛化度}}{\text{苛化度}} \times \text{NaOH}$$

$$= 55.5882 (\text{以 Na}_2\text{O 计})$$

$$= 95.0379 (\text{以 Na}_2\text{CO}_3 \text{ 计})$$

$$\text{又根据: 芒硝还原率} = \frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4}, \text{则:}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = \frac{1 - \text{还原率}}{\text{还原率}} \times \text{Na}_2\text{S}$$

$$= 11.6667 (\text{以 Na}_2\text{O 计})$$

$$= 76.7205 (\text{以 Na}_2\text{SO}_4 \text{ 计})$$

$$\text{蒸煮液中无机物总重量} = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$$

$$= 660.3068$$

3. 蒸煮用绝干木片量的计算

$$\text{绝干木片量} = \frac{1000 \times \text{浆的干度}}{\text{粗浆得率}} = \frac{1000 \times 90\%}{43\%}$$

$$= 2093.0233$$

4. 全部蒸煮液中水分的计算

$$\text{总液量} = \text{绝干木片量} \times \text{液比} = 2093.0233 \times 4$$

$$= 8372.0932$$

5. 蒸煮碱损失量的计算

$$\text{碱损失量} = \text{用碱量} \times \text{损失率}$$

$$= 420 \times 1.35\% = 5.6700 (\text{以 Na}_2\text{O 计})$$

$$\text{Na}_2\text{S 损失率} = 5.6700 \times \frac{78}{62} = 7.1332 (\text{以 Na}_2\text{S 计})$$

6. 蒸煮过程平衡计算

$$\text{【已知】 绝干木片量} = 2093.0233$$

$$\text{水} = 8372.0932$$

$$\text{无机物量} = 660.3068$$

$$\text{碱损失} = 7.1332$$

$$\text{松节油量} = 2.0$$

$$\text{水放汽冷凝液量} = 200$$

$$\text{喷放冷凝液量} = 1150$$

假定蒸煮不直接加热

$$\text{【计算】 浆液量} = (\text{绝干木片} + \text{水} + \text{无机物}) - (\text{松节油} + \text{喷放冷凝液} + \text{小放汽冷凝液} + \text{碱损失})$$

$$= 9766.2901$$

$$\text{其中绝干纤维} = 900$$

有机物 \approx 绝干木片量-绝干纤维量-松节油量=1191.0233

无机物=蒸煮液中无机物总量-蒸煮碱损失=653.1736

水量=蒸煮液中全部水-小放汽液量-喷放冷凝液量=7022.0932

(二)洗涤段平衡计算

【已知】 提取黑液浓度=1.5%(固形物含量)

洗涤后浆浓=12%

洗涤碱损失率=0.3%(对用碱量)

洗涤纤维损失率=0.3%

1. 洗涤段碱损失计算

【说明】 在洗涤段提取黑液过程中,不但有有效碱损失,而且有 Na_2CO_3 和 Na_2SO_4 的损失,为了计算方便,后者的损失可忽略不计。

【计算】 碱损失量=用碱量 \times 损失率=1.2600(Na_2O 计)

$$\text{Na}_2\text{S 损失量} = 12.6 \times \frac{39}{32} = 1.5852 (\text{Na}_2\text{S 计})$$

2. 提取黑液量的计算

转入黑液中的纤维=绝干纤维量 \times 纤维损失率

$$= 900 \times 0.30\% = 2.7000$$

黑液中固形物的量=有机物+无机物+洗涤纤维损失-碱损失

$$= 1191.0233 + 653.1736 + 2.7000 - 1.5852$$

$$= 1845.3117$$

$$\text{提取黑液量} = \frac{\text{固形物量}}{\text{黑液浓度}} = \frac{1845.3117}{15\%} = 12302.0780$$

黑液中水量=黑液量-固形物量=10456.7663

由于黑液中有有机物、无机物可看成溶于水,所以,每吨风干浆约提取 10.5m^3 黑液。

3. 洗涤段出浆量的计算

【计算】 洗涤后绝干纤维量=900-洗涤段纤维损失=897.3000

因为洗涤损失的碱转入浆液中,所以:

$$\text{洗涤后浆料量} = \frac{\text{绝干纤维量}}{\text{浆料浓度}} + \text{碱损失} = 7479.0852$$

4. 洗涤段的平衡计算

【已知】

进入洗涤段浆液量=9766.2901

提取黑液量=12302.0780

洗后浆料量=7479.0852

【计算】 加入洗涤段的热水量=洗后浆量+提取黑液量-进入浆量=10014.8731

(三)蒸发工段的平衡计算

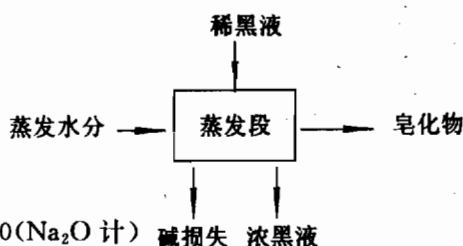
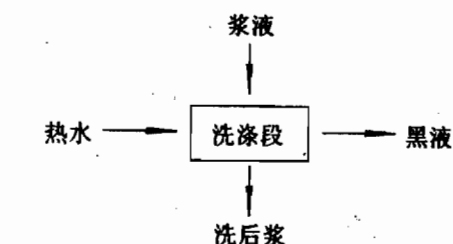
【已知】 浓黑液浓度=60%

去除皂化物的量=50(kg/t 浆)

蒸发中碱的损失率=0.8%(对用碱量)

1. 蒸发中碱损失量的计算

【计算】 碱损失量=用碱量 \times 损失率=3.3600(Na_2O 计)



$$\text{Na}_2\text{S 损失量} = 3.3600 \times \frac{39}{31} = 4.2271 (\text{Na}_2\text{S 计})$$

2. 浓黑液固形物量的计算

$$\begin{aligned} \text{【计算】 浓黑液固形物} &= \text{稀黑液固形物} - \text{皂化物} - \text{碱损失} \\ &= 1845.3117 - 50 - 4.2271 \\ &= 1791.0846 \end{aligned}$$

3. 蒸发后浓黑液中水分的计算

$$\text{【计算】 蒸发后浓黑液浓度} = \frac{\text{黑液固形物量}}{\text{黑液固形物量} + \text{浓黑液含水量}}$$

$$\begin{aligned} \text{浓黑液含水量} &= \frac{1 - \text{浓黑液浓度}}{\text{浓黑液浓度}} \times \text{黑液固形物} \\ &= \frac{1 - 60\%}{60\%} \times 1791.0846 \\ &= 1194.0564 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{浓黑液量} &= \text{黑液固形物} + \text{黑液中水} \\ &= 1791.0846 + 1194.0564 = 2985.1410 \end{aligned}$$

4. 蒸发段的平衡计算

$$\text{【已知】 皂化物} = 50$$

$$\text{碱损失} = 4.2271$$

$$\text{稀黑液量} = 12302.0780$$

$$\text{浓黑液量} = 2985.1410$$

$$\begin{aligned} \text{【计算】 蒸发水分} &= \text{稀黑液量} - \text{皂化物} \\ &- \text{浓黑液量} - \text{碱损失} = 9262.7099 \end{aligned}$$

5. 浓黑液中各成分的计算

$$\begin{aligned} \text{转入浓黑液中的 NaOH} &= 315.0000 (\text{Na}_2\text{OH 计}) \\ &= 406.4516 (\text{NaOH 计}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{转入浓黑液中的 Na}_2\text{S} &= \text{蒸煮液中 Na}_2\text{S} - \text{蒸煮 Na}_2\text{S} - \text{洗涤 Na}_2\text{S 损失} - \text{蒸发 Na}_2\text{S} \\ &\text{损失} \end{aligned}$$

$$= 132.0968 - 7.1332 - 1.5852 - 4.2271$$

$$= 119.1513 (\text{Na}_2\text{S 计})$$

$$= 94.7100 (\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$\text{转入黑液中的 Na}_2\text{CO}_3 = 55.5882 (\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$= 95.0379 (\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 计})$$

$$\text{转入黑液中的 Na}_2\text{SO}_4 = 11.6667 (\text{Na}_2\text{O 计})$$

$$= 26.7205 (\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ 计})$$

$$\begin{aligned} \text{转入黑液中的无机固形物} &= \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \\ &= 647.3613 \end{aligned}$$

$$\text{转入黑液中的有机固形物} = \text{固形物总量} - \text{无机固形物}$$

$$= 1791.0846 + 647.3613$$

$$= 1143.7233$$

(四) 熔融物成分的计算

$$\text{【已知】 苛化碱损失率} = 1.25\% (\text{对用碱量})$$

1. 苛化碱损失的计算

苛化碱损失=用碱量×苛化碱损失率=5.2500(Na₂O 计)

$$\text{Na}_2\text{S 损失量} = 5.2500 \times \frac{39}{31} = 6.6048 (\text{Na}_2\text{S 计})$$

2. 白液成分计算

【说明】 由于蒸煮所使用的蒸煮液即是苛化后所得到的白液,因此白液成分可由前面蒸煮段计算得到,即:

$$\text{Na}_2\text{S} = 105 (\text{Na}_2\text{O 计}) = 132.0968 (\text{Na}_2\text{S 计})$$

$$\text{NaOH} = 315 (\text{Na}_2\text{O 计}) = 406.4516 (\text{NaOH 计})$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 55.5882 (\text{Na}_2\text{O 计}) = 95.0379 (\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 计})$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 11.6667 (\text{Na}_2\text{O 计}) = 26.7205 (\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ 计})$$

白液中还存有少量 Ca(OH),为便于计算,在此忽略不计。

3. 绿液成分分析计算

【说明】 由于白液中 NaOH 全部是由绿液中 Na₂CO₃ 转化而来的,因此,绿液中各成分的量可作如下计算。

$$\begin{aligned} \text{【计算】 } \text{Na}_2\text{CO}_3 &= \text{白液中 Na}_2\text{CO}_3 + \text{白液中 NaOH} \\ &= 55.5852 + 315 = 370.5882 (\text{Na}_2\text{O 计}) \\ &= 633.5863 (\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 计}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{S} &= \text{白液中 Na}_2\text{S} + \text{苛化损失 Na}_2\text{S} \\ &= 132.0968 + 6.6048 = 138.7016 (\text{Na}_2\text{S 计}) \end{aligned}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{白液中 Na}_2\text{SO}_4 = 11.6667 (\text{Na}_2\text{O 计}) = 26.7205 (\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ 计})$$

4. 熔融物成分分析计算

【说明】 绿液中无机物可以认为是熔融物中的无机物,其各成分的重量以及各元素含量如表 1-18-1。

表 1-18-1

熔融物中各成分以及元素含量

组分	摩尔质量	重量(kg)	以 Na ₂ O 计	% (Na ₂ O 计)	Na	S	O	C
Na ₂ S	78	138.7016	110.2500	22.3856	81.7984	56.9032	—	—
Na ₂ SO ₄	142	26.7205	11.6667	2.3688	8.6559	6.0215	12.0431	—
Na ₂ CO ₃	106	633.5863	370.5882	75.2456	274.9525	—	286.9070	71.7268
总计		799.0084	492.5049	100.0000	365.4068	62.9247	298.9501	71.7268

(五) 燃烧段的计算

【已知】

燃烧碱损失率=3.0%(对用碱量)

补充芒硝纯度=90%

1. 燃烧碱损失计算

$$\begin{aligned} \text{【计算】 燃烧碱损失} &= \text{用碱量} \times \text{损失率} \\ &= 12.6000 (\text{Na}_2\text{O 计}) \end{aligned}$$

$$\text{Na}_2\text{S 损失量} = 12.6 \times \frac{39}{31} = 15.8516 (\text{Na}_2\text{S 计})$$

$$\text{Na 的飞失量} = 15.8516 \times \frac{23}{39} = 9.3484$$

584



$$\text{S 的飞失量} = 15.8516 \times \frac{16}{39} = 6.5032$$

2. 黑液固形物中 Na 和 S 含量的计算

【说明】 为便于计算,忽略原料中的硫含量。

$$\begin{aligned} \text{【计算】 黑液固形物中 Na 含量} &= (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4) \times \frac{23}{31} \\ &= (315 + 94.7100 + 55.5882 + 11.6667) \times \frac{23}{31} \\ &= 353.8772 (\text{以 Na 计}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{黑液固形物中 Na 的比率} &= \frac{\text{固形物中 Na 含量}}{\text{固形物总量}} \times 100\% \\ &= \frac{353.8772}{1791.0846} \times 100\% = 19.76\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{黑液固形物中 S 含量} &= \text{Na}_2\text{S} \times \frac{16}{39} + \text{Na}_2\text{SO}_4 \times \frac{16}{76} \\ &= 119.1513 \times \frac{16}{39} + 26.7205 \times \frac{16}{76} \\ &= 54.9041 (\text{以 S 计}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{黑液固形物中 S 的比率} &= \frac{\text{固形物中 S 含量}}{\text{固形物总量}} \times 100\% \\ &= \frac{54.9041}{1791.0846} \times 100\% = 3.07\% \end{aligned}$$

3. 黑液固形物元素成分的确定计算

【说明】 根据黑液固形物的元素分析(见表 1-18-2)以及 Na 和 S 的含量,对黑液中其它元素估算如表 1-18-3。

4. Na 和 S 元素的平衡及芒硝补充量计算

$$\begin{aligned} \text{【计算】 补充 Na} &= \text{熔融物中 Na} + \text{飞失量} - \text{黑液中 Na} \\ &= 365.4068 + 9.3484 - 353.8772 \\ &= 20.8708 \end{aligned}$$

表 1-18-2 黑液固形物元素分析(%)

纤维原料	C	H	O	N	S	Si	Na	灰分
木浆	39.5	3.5	11.5	—	3.5	—	—	42
木浆	24	2.1	13	—	0.3	0.15	—	40
竹浆	34.5	3.5	12	—	2.0	1.42	—	46.5
木浆	38.5	4.16	33.13	—	4.21	—	20	—
竹浆	21.96	5.1	5.7	0.24	1.3	—	—	27.5
木浆	42.6	3.6	31.7	—	3.6	—	18.3	0.2(惰性氧化物)
苇浆	37.9	4.1	23.41	0.52	2.2	—	—	31.87
蔗渣浆	41.5	4.1	34.5	0.2	0.4	1.2	15.8	—

表 1-18-3 黑液固形物元素含量

元素名称	Na	S	C	H	O	惰性氧化物	合计
%	19.76	3.07	39.1	4.2	33.6	0.27	100
重量(kg)	353.8772	54.9041	700.3141	75.2256	601.8044	4.9592	1791.0846

$$\text{应补充 Na}_2\text{SO}_4 = \text{补充 Na} \times \frac{76}{23} = 64.4495 (\text{Na 计})$$

$$\text{补充 Na}_2\text{SO}_4 \text{ 中含 S} = 64.4495 \times \frac{16}{76} = 14.5238$$

$$\text{补充芒硝中含氧} = 64.4495 \times \frac{32}{76} = 29.0477$$

$$\text{折合 90\% 芒硝量} = \frac{64.4495}{90\%} = 71.6106$$

$$\begin{aligned}\text{进入燃烧炉的 S} &= \text{芒硝中 S} + \text{黑液固形物中 S} \\ &= 14.5238 + 54.9041 = 69.4279\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{出燃烧炉的 S} &= \text{熔融中 S} + \text{飞失 S} \\ &= 62.9247 + 6.5032 = 69.4279\end{aligned}$$

5. 燃烧炉其它元素的平衡计算

① 碳的衡算

$$\begin{aligned}\text{排烟含 C 量} &= \text{固形物中 C} - \text{熔融物中 C} \\ &= 700.3141 - 71.7268 = 628.5873\end{aligned}$$

假设烟气中 C 全部是以 CO_2 形式排出, 则:

$$\text{烟气中 } \text{CO}_2 = 628.5873 \times \frac{44}{12} = 2304.8201$$

$$\text{CO}_2 \text{ 中含氧} = 2304.8201 \times \frac{32}{44} = 1676.2328$$

② 氢的衡算

$$\text{烟气的有固形物的 H} = \text{固形物中 H} = 75.2256$$

若 H 均以水的形式排入烟气, 则:

$$\text{烟气中化合 H}_2\text{O} = 75.2256 \times \frac{18}{2} = 677.0304$$

$$\text{化合水中含氧} = 677.0304 \times \frac{16}{18} = 601.8048$$

③ 氧的衡算

【说明】 设 Na 是以 Na_2O 的形式飞失的, 而 S 是以 SO_2 的形式飞失的, 故:

$$\text{飞失 NaOH 量} = \text{飞失 Na} \times \frac{31}{23} = 12.6000$$

$$\text{飞失 Na}_2\text{O 中 O 量} = \text{飞失 Na}_2\text{O} \times \frac{16}{62} = 3.2516$$

$$\text{飞失 SO}_2 \text{ 量} = \text{飞失 S} \times \frac{64}{32} = 13.0064$$

$$\text{飞失 SO}_2 \text{ 中含 O 量} = \text{飞失 SO}_2 \text{ 量} \times \frac{32}{64} = 6.5032$$

$$\begin{aligned}\text{理论耗氧量} &= \text{熔融物中氧} + \text{飞失 Na}_2\text{O 含氧} + \text{CO}_2 \text{ 含氧} + \text{SO}_2 \text{ 中含氧} \\ &\quad + \text{化合水中氧} - \text{固形物中氧} - \text{芒硝含氧}\end{aligned}$$

$$= 298.9501 + 3.2516 + 1676.2328 + 6.5032$$

$$+ 601.8048 - 601.8044 - 29.0477$$

$$= 1955.8904$$

④ 惰性氧化物的处理计算

【说明】 固形物中惰性氧化物的量为 4.9592kg。芒硝带入杂质量为 7.161kg, 共 12.1203kg。设这些物质在燃烧时不起反应, 直接进入熔融物中, 然后在苛化中作为绿泥除去。

【计算】 熔融物量 = $\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{惰性氧化钠} + \text{芒硝杂质}$

$$=811.1287$$

6. 烟气计算

【已知】 进入的空气重量组成为：水蒸汽 1.3%、氧 22.8%、氮 75.9%、空气过剩系数 1.15。

①进入系统的空气量计算

【计算】 进入系统氧量=理论需氧量 \times 1.15=2249.2740

$$\text{进入系统空气} = \frac{\text{进入系统氧量}}{\text{氧气分率}} = \frac{2249.2740}{22.8\%} = 9865.2368$$

$$\text{空气含 } N_2 = \text{空气量} \times \text{氮气分率} = 7487.7147$$

$$\text{空气含水蒸汽} = \text{空气量} - \text{空气含氧} - \text{空气含氮} = 128.2481$$

$$\text{水中含氧量} = 128.2481 \times \frac{16}{18} = 113.9983$$

$$\text{水中含氮量} = 128.2481 \times \frac{2}{18} = 14.2498$$

②烟气组成计算

$$\begin{aligned} \text{【计算】 烟气中的水} &= \text{化合水} + \text{黑液中水} + \text{空气中水} \\ &= 677.0304 + 1194.0564 + 128.2481 \\ &= 1999.3349 \end{aligned}$$

$$\text{烟气水中氧} = 1277.1866$$

$$\text{烟气水中氢} = 222.1483$$

$$\text{烟气中的 } SO_2 = 13.0064$$

$$\text{烟气 } SO_2 \text{ 中硫含量} = 6.5032$$

$$\text{烟气 } SO_2 \text{ 中氧含量} = 6.5032$$

$$\text{烟气中的 } CO_2 = 2304.8201$$

$$\text{烟气 } CO_2 \text{ 中氧} = 1676.2328$$

$$\text{烟气 } CO_2 \text{ 中碳} = 628.5873$$

$$\text{烟气中的 } Na_2O = 12.6000$$

$$\text{烟气 } Na_2O \text{ 中氧} = 3.2516$$

$$\text{烟气 } Na_2O \text{ 中钠} = 9.3484$$

$$\text{烟气中的 } N_2 = 7487.7147$$

$$\text{烟气中的 } O_2 = 293.3836$$

$$\text{烟气总量} = \text{烟气中水} + SO_2 + CO_2 + Na_2O + N_2 + O_2 = 12110.8597$$

7. 燃烧炉中总物料平衡

【说明】 燃烧炉总物料平衡情况列于表 1-18-4。

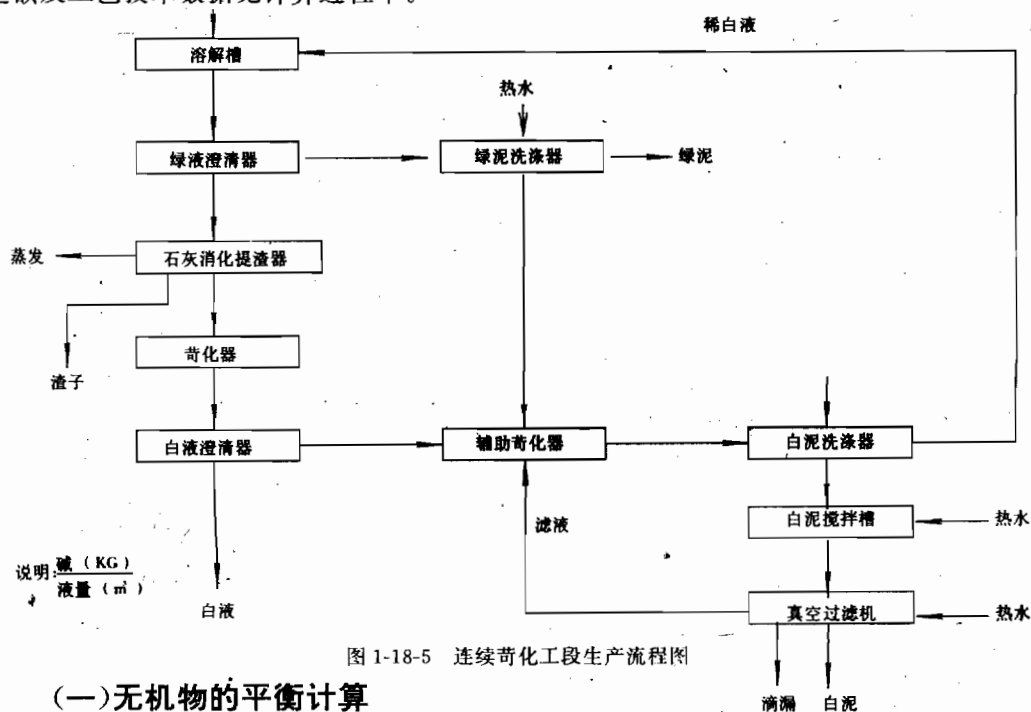
表 1-18-4

燃烧炉总物料平衡

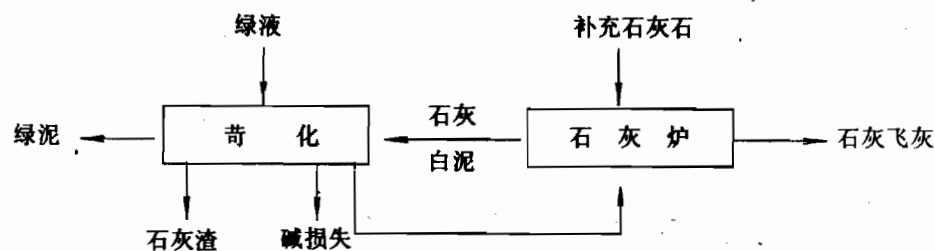
进料(kg)		出料(kg)	
物料名称	数量	物料名称	数量
黑液	2985.1410	熔融物	811.1287
芒硝	71.6106	烟气	12110.8591
空气	9865.2368		
合计	12921.9884		12921.9884

二、苛化工段物料平衡计算

【说明】 苛化工段物料平衡计算主要是对苛化生产过程中液体和碱进行平衡计算，同时也对白液成分、熔融物成分、石灰用量、白泥量、石灰石补充量等进行计算。下面以连续苛化系统为例来说明苛化过程物料平衡计算的步骤和方法。苛化工艺流程见方框图 1-18-5；平衡计算以一吨风干浆为基准，液体单位为 m^3 ，碱及其它固形物料单位为 kg ；所选定额及工艺技术数据见计算过程中。



(一)无机物的平衡计算



1. 白液成分计算

【说明】 按燃烧工段物料平衡计算中白液成分的计算方法，得计算结果如下：

$$Na_2S = 132.0968 = 105.0000 (\text{以 } Na_2O \text{ 计})$$

$$NaOH = 406.4516 = 315.0000 (Na_2O \text{ 计})$$

$$Na_2CO_3 = 95.0379 = 55.5882 (Na_2O \text{ 计})$$

$$Na_2SO_4 = 26.7205 = 11.6667 (Na_2O)$$

2. 取绿泥量 = 10.0000

3. 苛化总碱损失计算

【计算】 苛化总碱损失 = 用碱量 × 苛化碱损失率 = $420 \times 1\% = 4.2000$ (Na₂O 计)

损失 NaOH = $406.4516 \times 1\% = 4.0645 = 3.1500$ (Na₂O 计)

损失 Na₂S = $132.0968 \times 1\% = 1.3200$ (Na₂S 计) = 1.0500 (Na₂O 计)

4. 熔融物成分计算

【说明】 熔融物中成分可认为是绿液中成分。

【计算】 熔融物中 Na₂CO₃ = 白液中 Na₂CO₃ + 白液中 NaOH + 苛化损失 NaOH

$$= 673.7372 \text{ (Na}_2\text{O 计)}$$

$$= 638.9718 \text{ (Na}_2\text{CO}_3 \text{ 计)}$$

熔融物中 Na₂SO₄ = 白液中 Na₂SO₄ = 26.7205

$$= 11.6667 \text{ (Na}_2\text{O 计)}$$

熔融物中 Na₂S = 白液中 Na₂S + 苛化损失 Na₂S

$$= 106.0500 \text{ (Na}_2\text{O 计)}$$

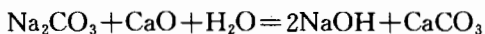
$$= 133.4177 \text{ (Na}_2\text{S 计)}$$

杂质量 = 绿泥量 = 10.0000

5. 石灰消耗量计算

【说明】 苛化所产生 NaOH 应是白液中 NaOH 和苛化损失 NaOH 之和。

【计算】 按苛化反应式：



$$\begin{array}{ccc} 562 & 2 \times 40 & 100 \\ x & 410.5167 & y \end{array}$$

解之得： $x = 287.3613$

$$y = 513.1451$$

$$\text{实际石灰用量} = \frac{x \cdot \text{过量系数}}{\text{纯度}} = \frac{287.3613 \times 1.1}{80\%} = 395.1218$$

假设过量的 CaO 经苛化后变为 Ca(OH)₂ 进入白泥，则：

$$\text{CaO} = x \cdot 10\% = 28.7361$$

按反应式： $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$

$$\text{Ca(OH)}_2 \text{ 量} = \frac{74}{56} \times \text{过量 CaO 量} = 37.9727$$

$$\text{水} = \frac{18}{56} \times \text{过量 CaO 量} = 9.2366$$

石灰带入的杂质 = 实际石灰用量 × (1 - 石灰纯度) = 79.0244

$$\text{进入白泥的杂质} = y \cdot \frac{10}{90} = 57.0161$$

白泥产量 = $y + \text{进入白泥杂质} + \text{Ca(OH)}_2$

$$= 513.1451 + 57.0161 + 37.9727$$

$$= 608.1339$$

6. 提渣机排除石灰渣量的计算

【计算】 石灰渣 = 石灰带入杂质 - 进入白泥的杂质

$$= 79.0244 - 57.0161 = 22.0083$$

7. 补充石灰石量的计算

【计算】 按反应式: $\text{CaCO}_3 \triangleq \text{CaO} + \text{CO}_2$

$$\begin{aligned} \text{石灰飞失量} &= \text{实际石灰量} \times \text{石灰飞失率} \\ &= 395.1218 \times 10\% = 39.5112 \end{aligned}$$

$$\text{飞失 CaO} = \text{飞失量} \times \text{石灰纯度} = 31.6098$$

$$\text{理论补充 CaCO}_3 = \frac{100}{56} \times \text{飞失 CaO} = 56.4460$$

$$\text{实际补充石灰石} = \frac{\text{理论补充 CaCO}_3}{\text{石灰石纯度}} = \frac{56.4460}{90\%} = 62.7178$$

(二) 液体及碱的平衡计算

1. 溶解槽平衡计算

【计算】

$$\begin{aligned} \text{熔融物中总碱} &= \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \\ &= 491.4549 (\text{Na}_2\text{O 计}) \end{aligned}$$

按液体平衡关系得:

$$\text{绿液量} = \frac{\text{总碱} + \text{稀白液碱}}{\text{绿液浓度}} = \text{稀白液量}$$

$$\text{稀白液量} = \frac{\text{稀白液碱}}{\text{稀白液浓度}}$$

$$\begin{aligned} \text{稀白液碱} &= \text{总碱} \times \frac{\text{稀白液浓度}}{\text{绿液浓度} - \text{稀白液浓度}} \\ &= 491.4549 \times \frac{20}{100 - 20} = 122.8637 \end{aligned}$$

$$\text{稀白液量} = \frac{\text{稀白液碱}}{\text{稀白液浓度}} = \frac{122.8637}{20} = 6.1432 (\text{m}^3)$$

$$\text{绿液量} = \text{稀白液量} = 6.1432 (\text{m}^3)$$

$$\text{进入绿液槽的碱} = \text{总碱} + \text{稀白液碱} = 614.3186$$

2. 绿液澄清器平衡计算

【计算】

$$\begin{aligned} \text{绿泥带泥量} &= \text{绿泥量} \times \text{绿泥浓度} \\ &= 0.3000 (\text{m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{绿泥带碱} &= \text{绿泥含绿液} \times \text{绿液碱浓度} \\ &= 0.3000 \times 100 = 30.0000 \end{aligned}$$

$$\text{进入消化提渣机绿液} = 6.1432 - 0.300 = 5.8432 (\text{m}^3)$$

$$\text{进入消化提渣机碱} = 614.3186 - 30.0000 = 584.3186$$

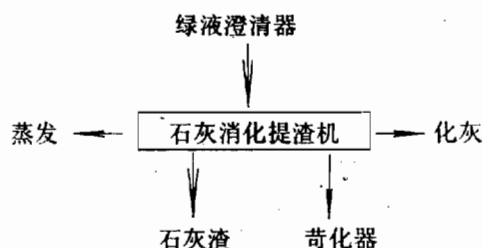
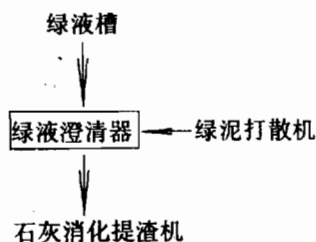
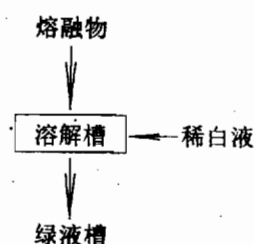
3. 石灰消化提渣机平衡

【计算】

$$\begin{aligned} \text{石灰消化、蒸发水量} &= \text{绿液} \times 2\% \\ &= 5.8432 \times 2\% \\ &= 0.1169 (\text{m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{石灰渣带走碱} &= \text{苛化碱损失} \times 5\% \\ &= 0.2100 (\text{以 Na}_2\text{O 计}) \end{aligned}$$

$$\text{石灰渣带走液量} = \text{石灰渣重} \times \frac{35}{65}$$



$$\begin{aligned}
 &= 22.0083 \times \frac{35}{65} \\
 &= 11.8500(\text{kg}) \\
 &= 0.01185(\text{m}^3)
 \end{aligned}$$

假设进入石灰不带水,则进入苛化器的液量应为:

$$\begin{aligned}
 \text{进入苛化器液量} &= \text{进入绿液量} - \text{消化蒸发水} - \text{石灰渣带液量} \\
 &= 5.7145(\text{m}^3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{进入苛化器碱} &= \text{绿液带来碱} - \text{石灰渣带走碱} \\
 &= 584.1086
 \end{aligned}$$

4. 白液澄清器平衡计算

【计算】

$$\begin{aligned}
 \text{白液含总碱} &= \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \\
 &= 487.2549(\text{Na}_2\text{O 计})
 \end{aligned}$$

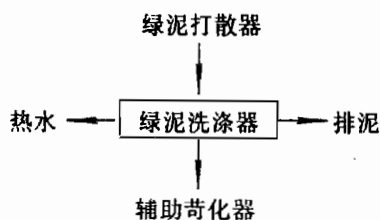
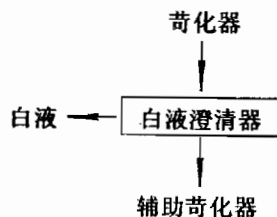
$$\begin{aligned}
 \text{送入辅助苛化器的碱量} &= \text{苛化器送来碱} - \text{白液中碱} \\
 &= 96.8537(\text{Na}_2\text{O 计})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{送入辅助苛化器的液量} &= \text{白泥量} \times \text{白泥浓度}(1.8\text{m}^3/\text{t 泥}) \\
 &= 1.0946(\text{m}^3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{送蒸发白液液量} &= \text{苛化器送来液量} - \text{白泥带走液量} \\
 &= 4.6199(\text{m}^3)
 \end{aligned}$$

$$\text{白液浓度} = \frac{\text{白液碱量}}{\text{白液量}} = 105.4687(\text{g/L})$$

5. 绿泥洗涤器平衡



【计算】

$$\begin{aligned}
 \text{随绿泥碱损失} &= \text{苛化碱损失} \times \text{损失率} \\
 &= 4.2000 \times 10\% = 0.4200
 \end{aligned}$$

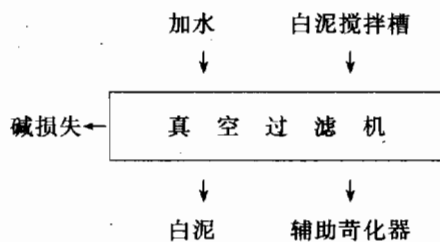
$$\begin{aligned}
 \text{进入辅助苛化器的碱} &= \text{绿泥带入碱} - \text{随绿泥损失碱} \\
 &= 30.0000 - 0.4200 = 29.5800
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{绿泥带走液量} &= \text{绿泥量} \times \text{绿泥浓度} \\
 &= 0.3000(\text{m}^3)
 \end{aligned}$$

$$\text{稀绿液量} = \frac{\text{稀绿液碱量}}{\text{稀绿液浓度}} = \frac{29.5800}{28} = 1.0564(\text{m}^3)$$

$$\begin{aligned}
 \text{加入热水量} &= \text{稀绿液量} + \text{绿泥带走液} - \text{绿泥带入液} \\
 &= 1.0564(\text{m}^3)
 \end{aligned}$$

6. 真空过滤机平衡计算



【计算】

白泥碱损失 = 苛化碱损失 × 损失率 (70%) = 2.9400

假设滴漏碱损失在真空过滤机处, 则:

滴漏碱损失 = 苛化碱损失 × 损失率 = 0.6300

白泥带走液量 = $\frac{\text{白泥}}{\text{排泥浓度}} = \frac{608.1339}{60\%} = 1.0136 (\text{m}^3)$

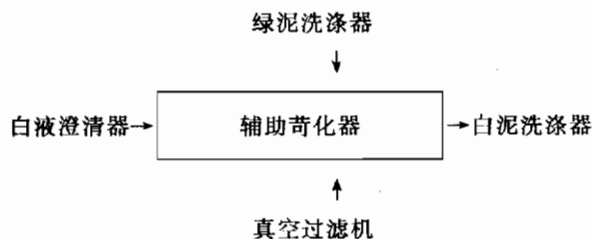
白泥带入液量 = $\frac{\text{白泥}}{\text{进泥浓度}} = \frac{608.1339}{25\%} = 2.4325 (\text{m}^3)$

送辅助苛化器液量 = 加水量 + 白泥带入液 - 滴漏液量 - 白泥带出液量
 $= 0.5000 + 2.4325 - 0.0050 - 1.0136$
 $= 1.9139 (\text{m}^3)$

滤液带入辅助苛化器的碱量 = 滤液量 × 滤液浓度
 $= 1.9139 \times 1.8 = 3.4450 (\text{Na}_2\text{O 计})$

白泥带入真空过滤机的碱量 = 滤液带走碱 + 滴漏碱 + 白泥带走碱
 $= 3.4450 + 0.6300 + 2.9400$
 $= 7.0150 (\text{Na}_2\text{O 计})$

7. 辅助苛化器平衡计算



【计算】 送白泥洗涤澄清器的碱量 = 白液澄清器来碱量 + 绿泥洗涤器稀绿液量 + 真空过滤机滤液中碱
 $= 129.8787 (\text{Na}_2\text{O 计})$

送白泥洗涤澄清器的液量 = 白液澄清器来液量 + 稀绿液量 + 滤液量
 $= 1.0946 + 1.6564 + 1.9139$
 $= 4.0649 (\text{m}^3)$

8. 白泥洗涤器平衡计算

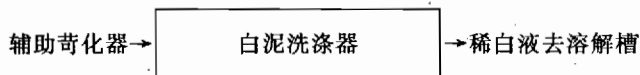
【计算】 进入白泥洗涤器的碱量 = 129.8787

出白泥洗涤器的碱量 = 白泥带出碱 + 稀白液带出碱
 $= 7.0150 + 122.8637 = 129.8787 (\text{以 Na}_2\text{O 计})$

白泥带出液量 = 白泥量 × 白泥浓度 = 1.0946 (m³)

$$\begin{aligned}\text{加水量} &= \text{稀白液量} + \text{白泥带出液量} - \text{辅助苛化器来液量} \\ &= 6.1432 - 1.0946 = 4.0649 = 3.1729(\text{m}^3)\end{aligned}$$

热水



白泥去搅拌槽

白泥澄清器

9. 白泥搅拌槽平衡计算

【计算】 加水量 = 去真空过滤机液量 - 白泥洗涤器来液量

$$= 2.4325 - 1.0946 = 1.3379(\text{m}^3)$$

白泥搅拌槽 ← 加水

真空过滤机

10. 液体及碱平衡方框图

【说明】 根据以上计算绘出液体及碱平衡方框图如图 1-18-6。

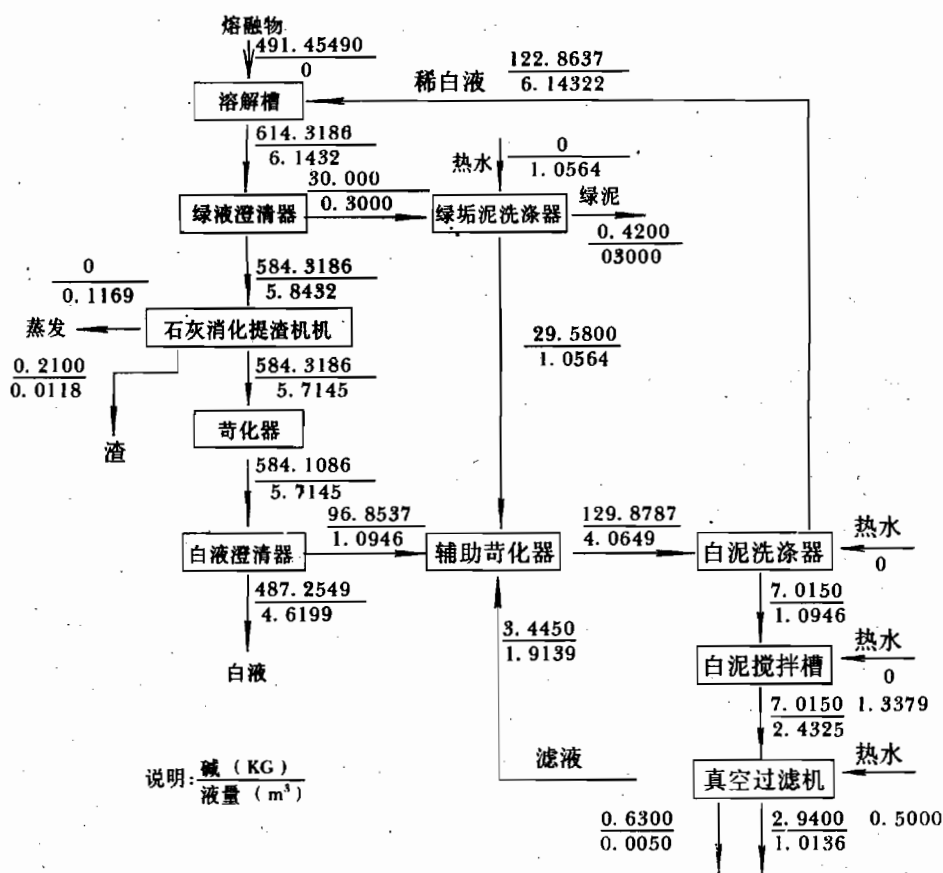


图 1-18-6 苛化系统液体、碱平衡方框图

第四节 造纸车间白水处理的平衡计算

【说明】 纸机白水中主要悬浮着一些细小纤维和杂细胞,还有一些滑石粉等填料颗粒

粒和施胶后带来的胶状物质以及溶解于水的无机盐类。为了回收纤维和填料,净化白水,目前大部分纸厂均采用白水回收措施。白水回收的方法有沉淀法、浮选法和过滤法等,下面通过实例对其平衡计算的步骤和方法加以说明。

一、沉淀法白水处理平衡计算

【说明】 沉淀法白水回收一般有平流沉淀池、斜管沉淀池和斜板沉淀池等几种,但其流程基本相同,下面以斜板式沉淀池为例加以说明。其工艺流程如图 1-18-7;所收集及确定的有关工艺技术数据及指标见计算过程中的已知条件;计算仍以一吨风干浆为基准,单位为 kg。

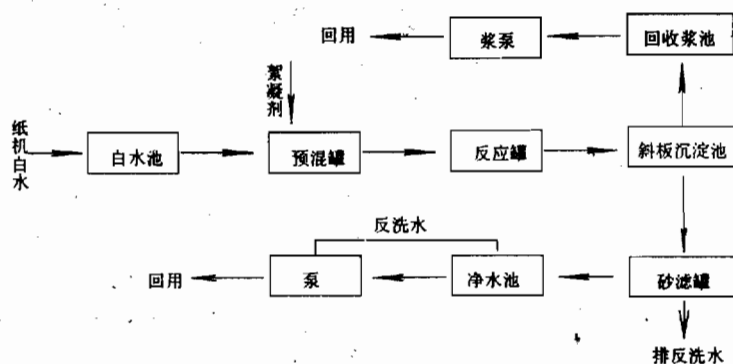


图 1-18-7 斜板沉淀池白水回收流程图

(一) 预混罐、反应罐平衡计算

【已知】

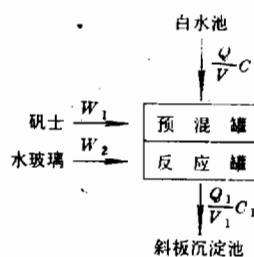
$$C = 503 \text{ ppm} (1 \text{ ppm} = \frac{1}{10^6} \text{ kg})$$

$$V = 106553.7711$$

矾土用量 6ppm(对白水水量)

水玻璃用量 60ppm(对白水水量)

矾土液浓度 10%, 水玻璃浓度 10%



【计算】 $Q_1 = Q = 106553.7711 \times 503 \times \frac{1}{10^6} = 53.5965$

$$W_1 = 106553.7711 \times 6 \times 10^{-6} \times \frac{1}{10\%} = 6.3932$$

$$W_2 = 106553.7711 \times 60 \times 10^{-6} \times \frac{1}{10\%} = 63.9323$$

$$V_1 = V + W_1 + W_2 = 106624.0966$$

(二) 斜板沉淀池平衡计算

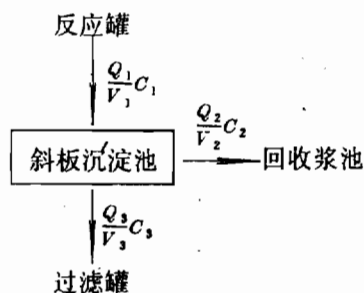
【已知】 $Q_1 = 53.5965$

$$V_1 = 106624.0966$$

$$C_2 = 0.8\%$$

$$C_3 = 50 \text{ ppm}$$

【计算】 根据平衡关系得:



$$\begin{cases} Q_1 = Q_2 + Q_3 \\ V_1 = \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} \end{cases}$$

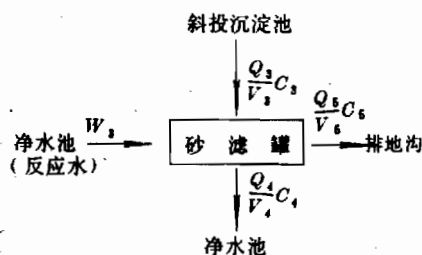
代入已知数据并计算得:

$$Q_2 = 48.5689, Q_3 = 5.0276$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = 100552.0000$$

$$V_2 = V_1 - V_3 = 6072.0966$$

(三)砂滤罐平衡计算



【已知】

$$Q_3 = 5.0276$$

$$V_3 = 100552.0000$$

反洗时砂滤罐排反洗水悬浮物浓度设为 0.1%, 排渣水浓度为 20ppm。

【计算】砂滤罐反洗是周期性的, 可根据过滤速度、水质要求而定, 一般 24h 反洗一次, 由此可设在未反洗时留在砂滤罐内的悬浮物浓度为 100%, 对其进行平衡得:

$$\begin{cases} Q_3 = Q_4 + Q_5 \\ V_3 = \frac{Q_4}{C_4} + \frac{Q_5}{C_5} \end{cases}$$

$$\text{解之得: } Q_5 = 3.0166, Q_4 = Q_3 - Q_5 = 2.0110$$

$$\text{则 } V_4 = \frac{Q_4}{C_4} = 100550.0000$$

反洗时排出水的量为 3016.600, 故:

$$\text{需反洗水量 } W_3 = V_3 - Q_5 = 3013.5834$$

净水池的水除用于砂滤罐反洗部分外, 其余均可回用。

二、气浮法白水处理平衡计算

【说明】气浮法处理白水, 按溶气方式可分为空压机注入溶气法、泵后射流溶气法和泵前插管溶气法等种类, 但其原理及流程均相同, 只是空气注入的部位不同而已, 现以常用的射流气浮法为例, 对白水回收的平衡计算步骤和方法加以说明。工艺流程见图 1-18-8; 与平衡计算有关的技术指标及工艺数据见计算过程中的已知条件; 计算仍以 1 吨风干浆为基准, 单位为 kg, 浓度单位为 ppm (1ppm = 10⁻⁶kg)。

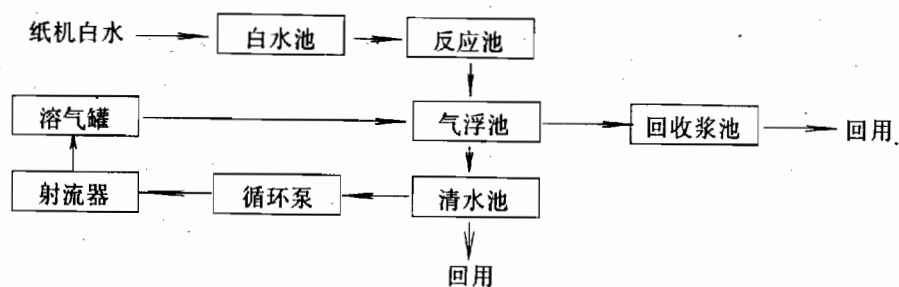


图 1-18-8 射流气浮法白水处理流程

(一)反应池平衡计算

【已知】

$$V = 106553.7711$$

$$C = 503\text{ppm}$$

矾土用量 5% (对白水中固形物), 矾土液浓度 10%

【计算】

$$Q = V \cdot C = 53.5965$$

$$Q_1 = Q = 53.5965$$

$$W_1 = 53.5965 \times 5\% \times \frac{1}{10\%} = 26.7983$$

$$V_1 = V + W_1 = 106580.5694$$

(二)气浮池平衡

【已知】

$$Q_1 = 53.5965$$

$$V_1 = 106580.5694$$

处理后清水浓度 $C_3 = 30\text{ppm}$

回收浆浓度 $C_2 = 4\%$

溶气水 : 气浮水 = 1 : 3

【计算】

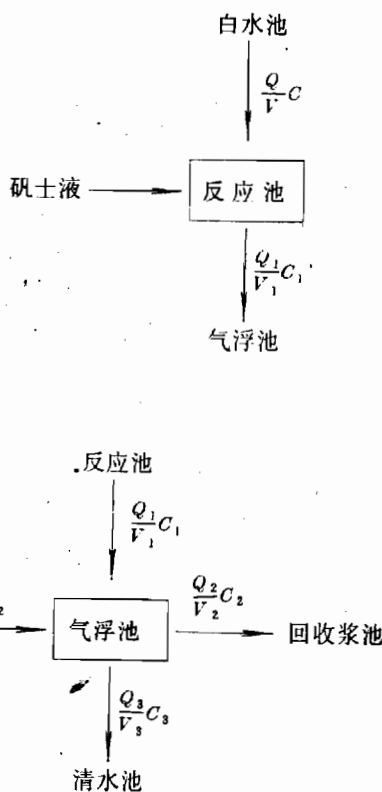
$$W_2 = \frac{1}{3}V_1 = 35526.8565$$

$$\begin{cases} Q_1 = Q_3 + Q_2 \\ V_1 + W_2 = \frac{Q_3}{C_3} + \frac{Q_2}{C_2} \end{cases}$$

解之得: $Q_2 = 49.3703, Q_3 = Q_1 - Q_2 = 1234.2575$

$$V_3 = V_1 + W_2 - V_1 = 140873.1684$$

【注意】清水池清水除循环作溶气水外,其余均可回用。



三、过滤法白水处理平衡计算

【说明】过滤法白水处理设备种类较多,比较常用的是比较先进的多圆盘纤维过滤器,其特点是占地面积小,白水回用周期短,但其需要用长纤维浆作滤层,下面以此为例,对其平衡计算加以说明。工艺流程如图 1-18-9;已知数据见计算过程中。计算仍以 1 吨风干浆处理白水量为基准,单位为 kg,浓度为 ppm(1ppm=10⁻⁶kg)

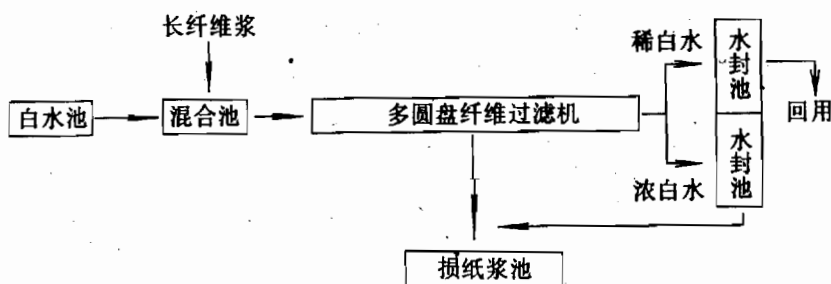


图 1-18-9 多圆盘纤维过滤机白水处理流程

(一)混合池平衡计算

【已知】

$$V = 109861.8054$$

$$C = 0.2498\%$$

$$C_1 = 0.2498\%$$

$$C_2 = 0.6\%$$

【计算】 $Q = VC = 274.4348$

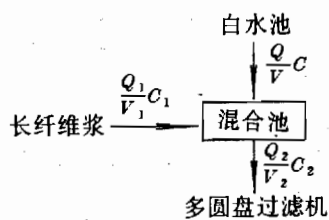
根据平衡:
$$\begin{cases} Q + Q_1 = Q_2 \\ V + \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} \end{cases}$$

解之得: $Q_1 = 464.3366$

$$Q_2 = Q + Q_1 = 738.7714$$

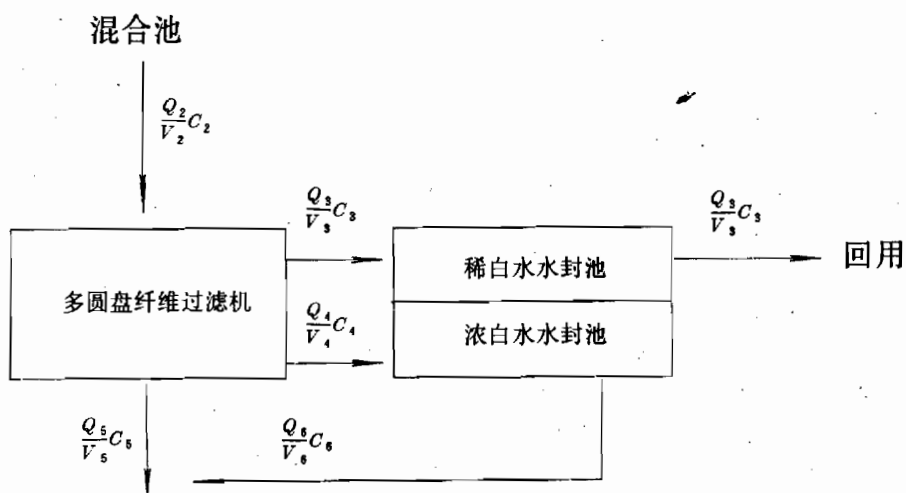
$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = 13266.7600$$

$$V_2 = V + V_1 = 123128.5654$$



(二)多圆盘纤维过滤机与水封池的平衡计算

【已知】 $Q_2 = 738.7714, V_2 = 123128.5654$



【已知】 $Q_2 = 738.7714, V_2 = 123128.5654$

$$C_3 = 50\text{ppm}, C_4 = 80\text{ppm}, C_5 = 10\%, C_6 = 3.5\%$$

【说明】多圆盘纤维过滤机在处理白水时,当纤维滤层没有形成时,白水浓度较高,

随着纤维滤层的形成,白水浓度逐渐降低。因此,其排出水的白水有浓稀之分。在实际生产中,浓白水经过加压后全部用来剥离纤维层,供给的浓白水量恰好够纤维层的浓度由 9~11% 降至 3~4%,如其稍有剩余或不足,可排入稀白水或由稀白水来补充。本例设其量恰好能使纤维层浓度由 10% 降至 3.5%。

【计算】 根据平衡

$$\begin{cases} Q_2 = Q_3 + Q_6 \\ V_2 = \frac{Q_3}{C_3} + \frac{Q_6}{C_6} \\ Q_5 + Q_4 = Q_6 \\ \frac{Q_5}{C_5} + \frac{Q_4}{C_4} = V_6 \end{cases}$$

$$\text{化简得: } V_2 = \frac{Q_2}{C_3} - \frac{Q_6}{C_3} + \frac{Q_6}{C_6}$$

$$\text{代入已知数据并计算得: } Q_6 = 733.6631$$

$$Q_3 = Q_2 - Q_6 = 5.1083$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = 102166.0000$$

$$V_6 = V_2 - V_3 = 20962.5654$$

$$\text{又: } \frac{Q_6}{C_5} + \frac{Q_4}{C_5} + \frac{Q_4}{C_4} = V_6$$

代入已知数据得:

$$Q_4 = 1.0909, V_4 = \frac{Q_4}{C_4} = 13636.8439$$

$$Q_5 = Q_6 - Q_4 = 732.8722$$

$$V_5 = V_6 - V_4 = 7325.7215$$

$$\text{浓白水量: 稀白水量} = V_4 : V_3 = 1 : 7.5$$

【注意】 水封池排出的稀白水可循环使用,而回收浆也进入系统回用。

附表一

常用计量单位表示符号

符 号	单 位	物 理 量	符 号	单 位	物 理 量
A	安培	电流	long ton	英吨	质量
Å	埃	长度	lx	勒克斯	光照度
a	年	时间	M	百万	数量(10^6)
at	工程大气压	压力	m	米	长度
atm	标准大气压	压力	mm	毫米	长度
bar	巴	压力	mmHg	毫米汞柱	压力
Bq	贝克勒尔	放射性活度	min	分	时间
Btu	英热单位	能量或功	mile	英里	长度
bsh	浦式耳	体积、容积	mol	摩尔	物质的量
C	库仑	电荷量	Mx	麦克斯韦	磁通量
°C	度	摄氏温度	n	纳(诺)	10^{-9}
cal	卡	能量或功	N	牛顿	力
cath	卡热化学	能量或功	nmile	海里	长度
cd	坎德拉	发光强度	nt	尼特	光照度
cal	卡	能量或功	Oe	奥斯特	磁场强度
cm	厘米	长度	oz	盎司	质量
cp	厘泊	动力粘度	P	泊	动力粘度
d	天	时间	Pa	帕斯卡	压力、压强
dB	分贝	声强级	phon	方	响度级
dyn	达因	力	phot	辐透	光照度
eV	电子伏	能或功	ppm	百万分之一(10^{-6})	浓度
erg	尔格	能或功	pt	品脱(英)	体积、容积
F	法拉	电容	qt	夸脱(英)	体积、容积
°F	度	华氏温度	r	转	速度
ft	英尺	长度	R	伦琴	照射量
G	高斯	磁感应强度	rad	弧度	平面角
g	克	质量	S	西门子	电导
Gal	伽	加速度	s	秒	时间
Gy	戈瑞	吸收剂量	sb	熙提	光照度
H	亨斯	自感、互感	son	宋	响度
h	小时	时间	sr	球面度	立体角
Hz	赫兹	频率	st	斯托克斯	运动粘度
lb	磅	力	t	吨	质量
lbf	磅力	力	tex	特克斯	(线密度)
in	英寸	长度	tf	吨力	力
J	焦耳	能力、功	Torr	托	压力、压强
K	开尔文	热力学温度	U	原子质量单位	质量
k	千	数量(10^3)	UKgal	英加仑	体积、容积
kg	千克	质量	USgal	美加仑	体积、容积
kgf	千克力	力	V·A	伏安	功率
km	千米	长度	Var	乏	功率
kn	节	速度	W	瓦	功率
L(l)	升	体积	yd	码	长度
lm	流明	光通量	Ω	欧姆	电阻